

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Optimalizace parametrů svařování tlakových nádob robotem
metodou 135

Parameters Optimization for Pressure Vessels Welding
Carried out by Robotic 135 Welding Method

Student:

Bc. Martin Šufana

Vedoucí práce:

Ing. Martin Sondel, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Šufana**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Optimalizace parametrů svařování tlakových nádob robotem metodou 135**
Parameters Optimization for Pressure Vessels Welding Carried out by Robotic 135 Welding Method

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte teoretický rozbor robotizovaného svařování metodou 135.
2. Navrhněte svarové spoje vhodné pro svařování tlakové nádoby.
3. Navrhněte svařovací parametry a technologické požadavky na svařování tlakové nádoby robotizovaným způsobem.
4. Proveďte experimentální zkoušky svařování tlakové nádoby.
5. Vyhodnoťte získané výsledky.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOUKAL, Jaroslav; SCHWARZ, Drahomír; HAJDÍK Jiří. *Materiály a jejich svařitelnost*. Vyd. 1. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o., VŠB-Technická Univerzita, 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
KOUKAL, Jaroslav; ZMYDLENÝ, Tomáš. *Svařování I*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2005. 136 s. ISBN 80-248-0870-6.

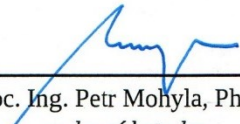
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Sondel, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016




doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny uvedené podklady a literaturu.

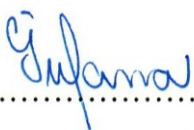
V Ostravě 16.5.2016


Martin Šufana

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.
- было с́jednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- было с́jednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:.....16.5.2016.....

..........
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Martin Šufana

Adresa trvalého pobytu autora práce: Olšanská 281

Ruda nad Moravou

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ŠUFANA, M. Optimalizace parametrů svařování tlakových nádob robotem metodou 135: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2016, 78 s. Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Sondel, Ph.D.

V diplomové práci se zabývám robotizovaným svařováním tlakové nádoby metodou 135. Cílem této práce je optimalizovat svařovací parametry na obvodovém svaru tlakové nádoby. Svařovací parametry jsou vyhodnoceny na zkušebních vzorcích. V teoretické části je popsána technologie svařování metodou 135. Vyhodnoceny jsou svařovací parametry a jejich vliv na vlastnosti svarového spoje. Jsou navrženy typy svarových spojů a jsou vysvětleny jejich výhody a nevýhody pro svařování dané tlakové nádoby. V experimentální části jsou navrženy svařovací parametry pro koutové obvodové svary, které vyhovovaly dané svařovací metodě a předpisům.

ANNOTATION OF THESIS

ŠUFANA, M. Parameters Optimization for Pressure Vessel Welding Carried out by Robotic 135 Welding Method, Thesis. Ostrava: VSB-Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Technology, 2016, 78 p. Supervisor: Ing. Martin Sondel, Ph.D.

The thesis is dealing with welding parameters for robotic welding. The aim of this work is optimize the welding parameters main on the circumferential welds for pressure vessel. The welding parameters are evaluated on test samples. In the theoretical part are describes the technology of welding method 135. The evaluation of the welding parameters and their influence on the properties of welded joints. In the experimental part of this work are proposed the welding parameter for fillet round welds. Which agree with welding method and standard.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
Úvod.....	9
1 Metody svařování tlakových nádob na robotických linkách	10
1.1 Svařování metodou 135.....	10
1.1.1 Charakteristika přenosu kovu	11
1.1.2 Svařování metodou 135 výhody, nevýhody	12
vysoké vyzážené světlo do prostoru,	12
1.1.3 Ochranný plyn	12
1.1.4 Přídavný materiál.....	13
1.2 Pulzní svařování	14
1.2.1 Metody pulzního svařování	16
1.3 Robotizované svařování	19
1.3.1 Robot Yaskawa-Motoman.....	19
1.3.2 Ovladač Teach pendant	20
1.3.3 Svařovací zdroj	21
1.3.4 Podavač drátu	23
1.3.5 Svařovací hořáky	24
2 Vliv svařovacích parametrů	26
2.1 Vliv svařovacího proudu	27
2.2 Vliv svařovacího napětí.....	28
2.3 Vliv rychlosti svařování	28
2.4 Vliv výletu drátu	29
2.5 Vliv nastavení úhlu svařovacího hořáku	30
3 Základní materiál	31
4 Vady ve svarových spojích	32
4.1 Typy vad při svařování.....	32
4.2 Příčiny vad	33
5 Experimentální část.....	35
5.1 Základní materiál P265GH	35
5.2 Svarové plochy.....	36
5.2.1 Obvodové svary.....	36
5.3 Chemická úprava základního materiálu před svařováním	40

5.3.1 Fosfátování	40
5.3.2 Pasivace	41
5.4 Svařování vzorků	41
5.4.1 Přídavný materiál WDI WEKO 4.....	42
5.4.2 Nastavení svařovacího proudu	43
5.4.3 Nastavení svařovacího napětí	47
5.4.4 Nastavení výletu drátu	51
5.4.5 Nastavení rychlosti svařování.....	55
5.4.6 Nastavení úhlu hořáku	59
5.5 Dosažené výsledky	67
Závěr	70
Použitá literatura	71
Seznam obrázků.....	72
Seznam tabulek	73
Seznam grafů	74
Seznam příloh	74
Poděkování.....	75

Seznam použitých značek a symbolů

Značení	Popis	Jednotka
A_5	Tažnost	[%]
FW	Koutový svar (Fillet weld)	[-]
I	Svařovací proud	[A]
KV	Nárazová práce	[J]
MAG	Metal Active Gas	[-]
PA	Poloha svařování	[-]
PB	Poloha svařování	[-]
Re	Mez kluzu	[MPa]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	[-]
U	Svařovací napětí	[V]
v_s	Rychlost svařování	[m/s]
WPS	Specifikace postupu svařování (Welding Procedure Specification)	[-]
131	Metoda svařování odtavující se elektrodou v ochranné atmosféře	[-]
135	Metoda svařování odtavující se elektrodou v ochranné atmosféře	[-]
Ψ	Součinitel formy svaru	[-]

Úvod

Současné trendy výroby směřují stále více k maximální automatizaci, tomu napomáhá také neustálý vývoj řídicí techniky a robotů. Důvody jsou jednoduché, mnohonásobně zvýšená efektivita v důsledku větší rychlosti a přesnosti práce strojů než lidí. Ve strojírenství se však mnohdy jedná o kusovou výrobu, nebo malosériovou výrobu. Zde je plná automatizace neekonomická díky vysokým pořizovacím nákladům na automatické výrobní linky, také díky dlouhým časům na seřízení a vyladění výrobní linky. Proto se firmy uchylují k poloautomatizaci, která spočívá ve spolupráci člověka se strojem. Jednoduše řečeno člověk volí polotovary do různých přípravků, stroj provede operaci a člověk vymění svařený kus za další polotovar. Stejně je tomu i při výrobě tlakových nádob, kde pro řádové tisícové série nemá důvod investovat finance i čas do plně automatizované výrobní linky. [3]

Mnohokrát se musí tlaková nádoba svařovat ručně z důvodu technologického postupu svařování. Cílem této diplomové práce je návrh technologie robotizovaného svařování tlakové nádoby tak, aby materiál a svarové spoje vyhovovaly požadavkům norem. Svařenec musí splňovat kritéria přesnosti a vzorek svařence před vlastní výrobou se musí podrobit zkouškám, které jsou uvedeny v příslušných normách. Zároveň musí být brán ohled na to, že nádoby jsou testovány pod tlakem vzduchu pod vodou kvůli bezpečnosti. Ve firmě PV – Czech, kde budu svařovat zkušební vzorky pro experimentální část, se svařují různé druhy tlakových nádob, jak je uvedeno na obr. 1.

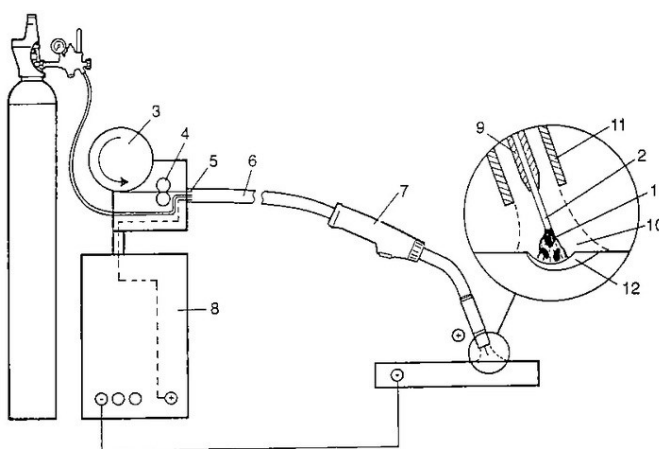
Svařování je technologický proces, kdy vznikne nerozebíratelný svarový spoj s určitou vlastností. Svarový spoj musí být takový, aby vyhověl všem technickým a technologickým požadavkům. Pro daný typ výrobku musíme stanovit technické a technologické požadavky pro dosažení kvalitního svarového spoje.

Existují různé technologie, jak můžeme docílit vhodného svarového spoje pro určitý účel a vlastnosti. Toto je otázka pro svařečské inženýry a konstruktéry, kteří navrhují základní materiál, metodu svařování, svarový spoj a přídavný materiál pro svar.

1 Metody svařování tlakových nádob na robotických linkách

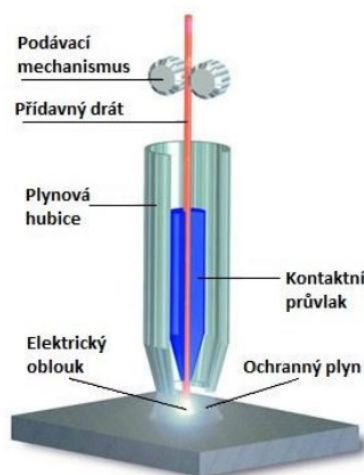
1.1 Svařování metodou 135

Svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu 135 (Metal Activ Gas - MAG) patří k nejrozšířenějším metodám svařování nízkolegovaných a nelegovaných ocelí. Zařízení metody 135 vidíme na obr. 1.



Obrázek 1. Zařízení metody 135

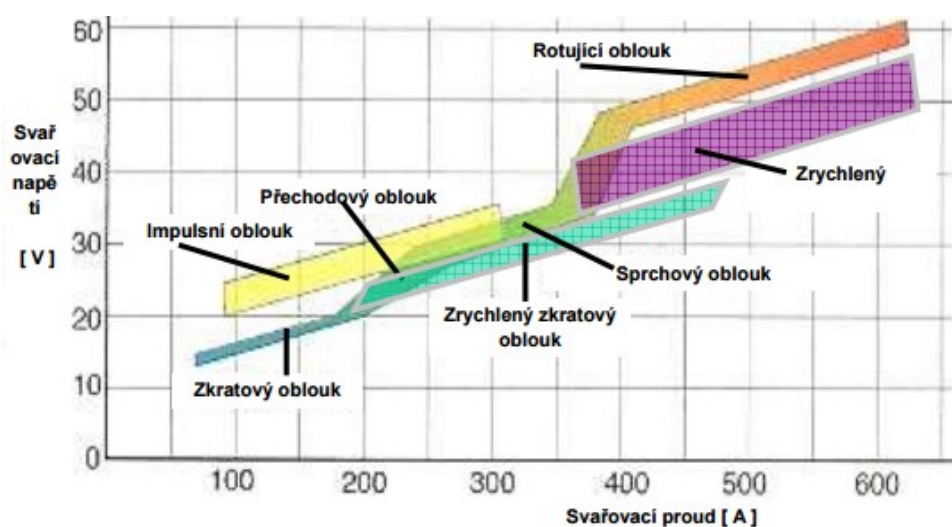
Metoda 135 je založena na principu hoření oblouku mezi tavící se elektrodou (přídavným materiálem) a základním materiálem v ochranné atmosféře plynu. Princip svařovací metody 135 vidíme na obr. 2. Svařovací drát je napájen ve svařovacím hořáku. Je napájen ve svařovacím hořáku z důvodu, aby napájená délka svařovacího drátu byla co nejkratší. U svařovacího zdroje LSQ5 - SKS, který se používá ve firmě PV – Czech, je přídavný materiál napájen pod stálým napětí v rozsahu: 15 V – 35 V. [10]



Obrázek 2. Princip metody 135

1.1.1 Charakteristika přenosu kovu

Charakter přenosu kovu závisí na parametrech svařování a vlastnostech ochranného plynu. Při změně napětí a rychlosti posuvu svařovacího drátu lze generovat různé typy přenosů kovu, ve kterých se přidavný svarový materiál přenáší do svarové taveniny různými způsoby, jak je uvedeno na obr. 3. Pro svařování tenkých plechů je vhodnější zkratový přenos a pro plechy větších tloušťek je přenos sprchový. Při svařování impulsním obloukem se kapka natavuje podle velikosti frekvence [Hz]. Teplota kapky svařovacího drátu se pohybuje kolem 1800 – 2600 °C. [4]



Obrázek 3. Charakteristika přenosu kovu

Označuje se jako poloautomatické svařování v ochranné atmosféře s aktivním plynem. Aktivní plyn má zamezit přístup vzduchu do svarové lázně. Mimo toho, že je ochranným plynem, má tento plyn další funkci. Vstupuje do svarové lázně, kde podporuje chemickou reakci. Mezi aktivní plyny patří například CO_2 , Argon+ CO_2 . [4]

Další jeho funkcí je, aby vstupoval do chemických reakcí ve svarové lázni. Aktivní plyn podílí aktivně na reakcích a procesech, které vznikají a probíhají ve svarové lázni a okolí.

1.1.2 Svařování metodou 135 výhody, nevýhody

Metoda 135 má uplatnění tam, kde je kladeno několik nároků, a to je rychlost svařování, velký výkon odtavení a opravitelnost svarů. Největší uplatnění v dnešní době je u manuálního svařování a u robotizovaného svařování.

Výhody metody 135:

- vysoká rychlost svařování,
- možnost svařovat ve všech polohách svařování,
- menší nároky na čištění strusky,
- viditelná svarová lázeň,
- bez výměn elektrod.

Nevýhody svařování metodou 135:

- vyšší pořizovací cena v případě robotizovaného svařování,
- svařovací zdroj vyžaduje většinou odbornou obsluhu,

vysoké vyzařené světlo do prostoru,

- vyžaduje dobré meteorologické podmínky.

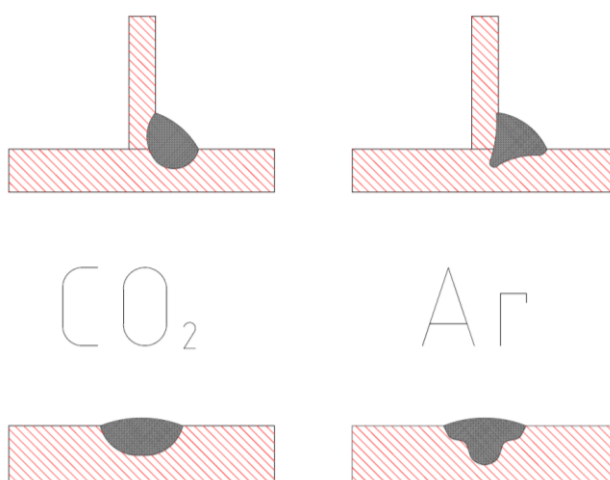
1.1.3 Ochranný plyn

Ochranné plyny chrání konec tavícího se drátu, svarovou lázeň a ohřátou oblast základního materiálu vedle svaru před škodlivými účinky vzdušné atmosféry (oxidace naplyněním). Vytváří příznivé podmínky pro zapálení a hoření oblouku, přenos kovu oblouku a stabilitu svařovacího procesu obecně. [10]

Ochranné plyny výrazně ovlivňují tepelný výkon oblouku, přenos kovu v oblouku, chemické složení, rozměry svaru, celistvost a vlastnosti svarových spojů, produktivitu a hospodárnost svařování. [10]

Nejlevnější je použít oxid uhličitý jako ochranný plyn pro svařování v ochranných atmosférách. Poté je ale třeba nastavit přesnější svařovací parametry. Směsný plyn, který je složen z Ar + 8 až 25% oxidu uhličitého. Poskytuje měkčí hoření oblouku, kvalitnější vzhled svarové housenky a nejnižší rozstřík svarového kovu.

Na obr. 4 vidíme různé průvary základního materiálu při použití rozdílných druhů ochranného plynu. Popsání ochranných plynů nalezneme v normě ČSN EN ISO 14175.



Obrázek 4. Průvary ochranných plynů

Aktivní plyn má vliv na tvar svarové housenky, jako je uvedeno na obr. 5. Velice důležité u svařování je nastavení průtoku plynu. Průtok plynu závisí na svařovacích parametrech, na druhu svařovacího drátu (průměr) a na prostředí, kde svařujeme. Např. pro průměr 1 mm se používá průtok plynu 16 l/min a pro průměr 1,2 mm by měl být průtok nastaven na 18 l/min. Průtok plynu se měří průtokoměry, které jsou k jednotlivým druhům plynů určeny.[3]

1.1.4 Přídavný materiál

Přídavné materiály pro svařování tlakových nádob a přivařování příslušenství nádob jsou např. uvedeny v normách ČSN EN 12074 a ČSN EN 13479. Ekvivalentní národní nebo mezinárodní specifikace jsou přijatelné, jestliže splňují stejná kritéria (požadavky na jakost, výrobu, dodávání, distribuce, zkušební metody a hodnocení). Předpis je vypsán ve specifikaci postupu svařování WPS. [6]

Přídavné materiály pro metodu 135 se vyrábějí v širokém sortimentu hmotností a různých průměrů drátů. Přídavné materiály jsou navinuty na plastových nebo drátěných cívkách od výrobce. [6]

Při svařování je kovový drát posunován přes svařovací hořák do hořícího elektrického oblouku, kde je roztaven a přenesen do svarové lázně. Hořák může být veden ručně nebo robotem. Při svařování je také důležitý sklon hořáku.

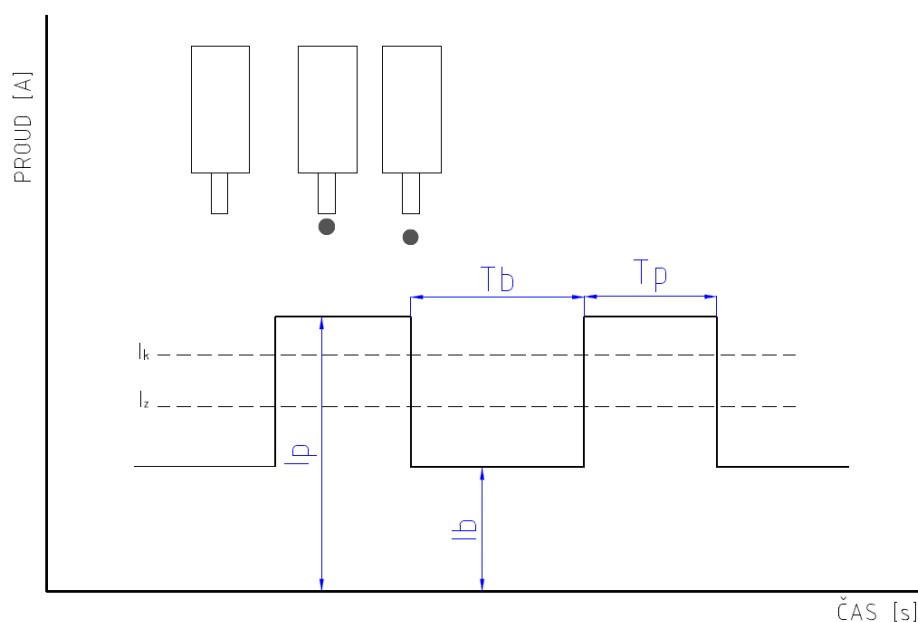
Hořák může být veden vpřed nebo vzad. Energie potřebná pro hoření oblouku je dodávána ze svařovacího zdroje. Elektrický oblouk a svarová lázeň jsou chráněny ochranným plynem, který je přiváděn dýzou hořáku.[4]

1.2 Pulzní svařování

Pro potřebu regulace množství vneseného tepla do svaru se vyvinulo několik způsobů regulace vneseného tepla. Jedna z nich se nazývá pulzní svařování, které je znázorněno na obr.5.

Do místa svaru a jeho okolí je vnášeno velké množství tepla, které vzniká při hoření oblouku mezi základním materiálem a koncem elektrody. Množství vneseného tepla výrazně ovlivní kvalitu svaru. Příliš velké množství tepla způsobí například zhrubnutí zrna a snížení vrubové houževnatosti. Naopak malé množství tepla vede k neprovaření svaru a vzniku trhlin. [4]

Pulzní svařovací cyklus se používá u nízkouhlíkové oceli za použití nízkých a středních hodnot svařovacích parametrů. Tento cyklus rozděluje střední energii oblouku na dvě různé energetické hladiny: impuls a základ. V okamžiku impulsu svařovací parametry dosahují nadkritických hodnot, kde se tvoří a oddělují kapky tekutého kovu. Po oddělení kapky není nutné setrvávat na nadkritických parametrech. Dojde k výhodnějšímu přechodu na nízké základní svařovací parametry, pomocí kterých se hlavně udržuje hoření oblouku bez významného ohřevu elektrody a základního materiálu. Celková střední energie svařovacího procesu se pohybuje na úrovni hodnot klasického zkratového procesu svařování. [4]



Obrázek 5. Pulzní režim svařování

Pulzní režim svařování charakterizují následující parametry:

I_p – proud impulsu, **I_b** – proud základu, **I_z** – střední hodnota proudu, **I_k** – kritická hodnota proudu, **t_p** – čas trvání impulsu, **t_b** – čas trvání základu.

Aby bylo dosaženo stabilního procesu je nutné všechny parametry definovat v závislosti na rychlosti podávání elektrody, směsi ochranných plynů, průměru a chemickém složení elektrody.

Hlavním úkolem základního proudu je udržet oblouk do další periody, má však vliv i na tavení každé kapky. Proto se často používá na regulaci množství kovu nataveného ve fázi impulsu.

Nárůst proudu z hodnoty základu na hodnotu pulzu ovlivňuje tavení elektrody i spolehlivost oddělení kapky. S vyšší rychlostí nárůstu proudu, roste i rychlost tavení. Z pohledu charakteru přenosu kovu, velmi rychlý nárůst proudu nebývá příznivý.

Konstantní parametry impulsů a změny rychlosti podávání elektrody je zajištěno několika způsoby regulace přes zpětnou vazbu. Podavač reaguje pomalu. Může reagovat na změnu délky oblouku jen tak rychle, jak rychle se podává elektroda. V dnešní době se používají dva hlavní způsoby regulace tavení, které udržují konstantní délku oblouku. Oba způsoby udržují konstantní rychlost podávání elektrody řízenou centrálně.[4]

První způsob mění proud impulzů. Změny tavení při každém impulzu jsou limitovány maximálním proudem impulzů na jedné straně a hladinou základního proudu na straně druhé. Změna je relativně pomalá, ale velmi stabilní.

Druhý způsob mění frekvenci impulzů. Je nejbližší tradičnímu způsobu řízení metody 135. Mění průměrný proud tak, aby udržel konstantní délku oblouku.

Průběh impulzního obloukového svařování je uvedeno na obr. 5.

- a) Oblouk hoří při nízkém proudu, drátová elektroda se začíná tavit.
- b) Objem kapky na hrotu elektrody začíná růst díky velkému proudovému impulzu a současně zesiluje efekt zúžení kapky, který by mohl vést k jejímu oddělení.
- c) Kapka se odděluje a přenáší do svarové lázně bez vzniku zkratu.
- d) Hodnota proudu klesá na základní úroveň.
- e) Oblouk dále hoří se základní hodnotou proudu až do dalšího proudového impulzu, který opět způsobí roztavení hrotu elektrody, ale nikoliv oddělení kapky.

1.2.1 Metody pulzního svařování

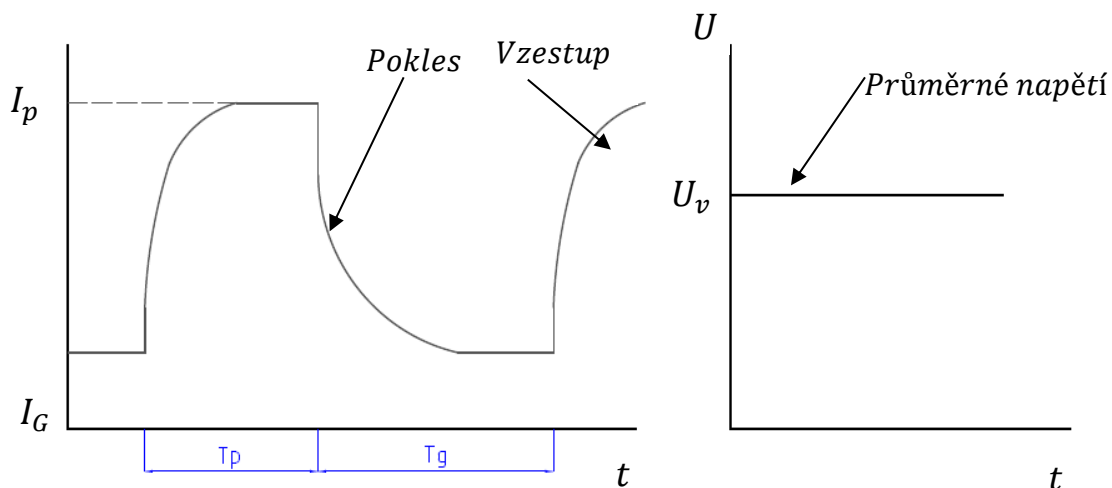
Metody pulzního obloukového svařování se dělí na svařování s pulzy proudovými (I), napěťovými (U) a KF pulzy.

➤ Proudový pulz:

Tuto metodu svařování lze používat pro oceli CrNi, bronz atd. Charakteristika proudového pulzu je uvedeno na obr. 6.

Univerzální svařovací metoda s nastavením následujících parametrů:

- Vytvoření oblouku
- Statická charakteristická křivka
- Nárůst proudu
- Proud pulzu
- Čas proudového pulzu
- Pokles proudu
- Základní proud



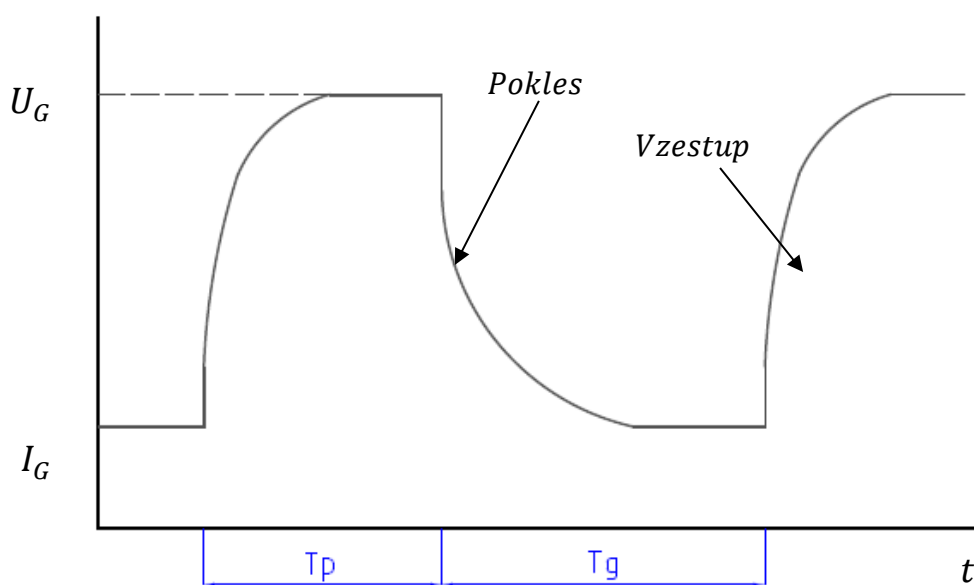
Obrázek 6. Proudový pulz

I_G – základní proud; I_p – proud pulzu; T_g – čas základního proudu; T_p – čas proudového pulzu; t – čas; U – napětí; U_v – svařovací napětí.

Čas základního proudu se volí automaticky tak, aby bylo dosaženo požadovaného svařovacího napětí.

➤ Napětíový pulz

Jedná se o klasickou svařovací metodu pro přepínání mezi napětím pulzu a základním proudem s výchozím nastavením parametrů. Na obr. 7 je uveden průběh napětíového pulzu.

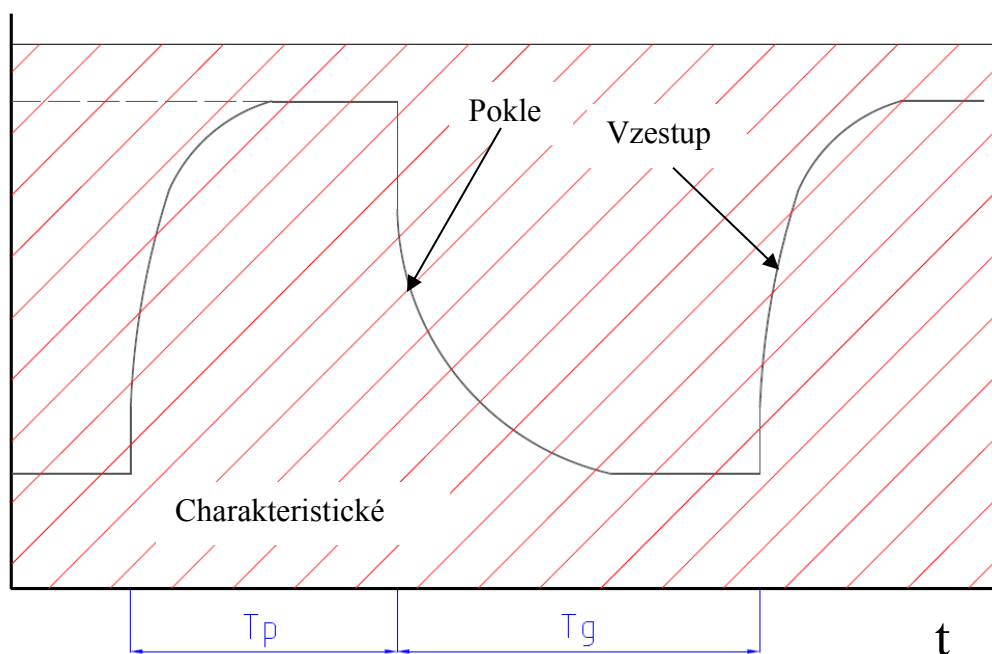


Obrázek 7. Napětíový pulz

➤ Pulzní svařování metodou KF

Je to speciální metoda pro přepínání mezi napěťovým impulzem a základním proudem s výchozím nastavením následujících parametrů:

- Vytvoření oblouku
- Nárůst proudu
- Napětí impulzu
- Čas impulzu
- Charakteristická proměnná pole (KF)
- Pokles proudu
- Základní proud
- Čas základního proudu



Obrázek 8. Impuls KF

Parametry proudového zdroje se mění automaticky při dosažení prahů charakteristického pole, které je znázorněno na obr. 8. Nastavitelné dynamické parametry pole zajišťují účinné přemostění mezer. Všechny parametry je nutno optimalizovat ručně. Tuto metodu používáme ve firmě PV – Czech. Metoda je citlivá na změnu mezery mezi hořákem a základním materiálem. Tato metoda se nejvíce používá při aplikaci s dvojitou elektrodou. [4]

1.3 Robotizované svařování

Ve firmě PV – Czech jsou svařovány tlakové nádoby různých velikostí s různou složitostí konstrukce. Velká část tlakových nádob je vyráběna sériově a jsou svařovány roboticky. U malé série tlakových nádob se svařuje manuálně. Tlakové nádoby nemusí být konstruovány nebo navrženy tak, aby je bylo možné svařovat robotem. Musíme dát také velký důraz na svařovací přípravky, které nám zaručí přesnou polohu komponentů. Svarové spoje musí být navrženy tak, aby je bylo možné svařit robotem a také musí být navrženy podle daných norem. [3]

Svařovací roboti jsou automatické, univerzální, manipulační zařízení představující výkonou komfortní a přesnou svařovací techniku. Pomocí svařovacího ramene se dostaneme do obtížně přístupných prostor, kde potřebujeme provést svar. Přesnost robotů je v dnešní době několik desetin milimetrů.

Pro některé náročné operace, jak pro svařování nebo manipulaci, potřebujeme několik stupňů volnosti. Stupeň volnosti nám dovolí nastavování několik poloh ramene. Pro dosažení libovolného bodu v prostoru potřebujeme tři stupně volnosti a pro orientaci nástroje, nebo pro nás svařovacího hořáku je potřeba dalších tří stupňů volnosti. Proto máme ramena se šesti stupni volnosti. Na trhu se vyrábějí i ramena s devíti a desíti stupni volnosti. [5]

Hlavní části svařovacího robota jsou:

- svařovací zdroj
- pohyblivé rameno
- řídicí jednotka
- svařovací zdroj
- chladicí systém
- další příslušenství

1.3.1 Robot Yaskawa-Motoman

Robot Yaskawa Motoman MA 1900, který je uveden na obr. 9 byl vyvinut pro obloukové svařování. Dosah šestiosého ramene je 1 904 mm. Rameno robota je navrženo s integrovanou kabeláží, což znamená, že kabelový svazek a svazek médií (plyn, chlazení) je veden uvnitř ramene. Významný vliv má tzv. duté zápěstí na pohyblivost šesté osy. Vedením svazku uvnitř a použití vhodného hořáku dosáhneme nekonečné otáčení šesté osy (nehrozí utržení kabelového svazku). K takovýmto hořákům patří například produkty firmy SKS – PowerJoint a WaterJoint (s integrovaným vodním chlazením). [5]



Obrázek 9. Yaskawa-Motoman MA1900

Robot MA1900 je vybaven řídicím systémem DX100, který zajišťuje programování, nastavování a ovládání ramene. Ve skříni řídicího systému se nachází jak ovládací část, tak řídicí část pro servomotory (tzv. servopack). V řídicím systému se taktéž nachází PLC (Programovatelný logický automat) systém, který je z části využíván k řízení robota a svařovací buňky. Do řídicího systému je též možné připojovat dodatečné karty a nastavby k rozšíření funkcí robota (analogové karty, různé typy řízení svařovacích zdrojů, přídatné I/O porty) Doplnkové funkce jsou též k dispozici po úpravě parametrů – paměťové oblasti, která je přístupná z větší části pouze v Yaskawa modu (superuživatel).[5] Všechny důležité parametry svařovacího ramene jsou uvedeny v tab. 1.

Tabulka 1. Parametry ramene robota

PARAMETRY	
Řízené osy	6
Nosnost	3 kg
Max. dosah	1904 mm
Opakovatelnost	±0.08 mm
Hmotnost	280 kg
Požadavky na výkon	5.0 kVA
Možnosti upevnění	Podla, stěna, strop

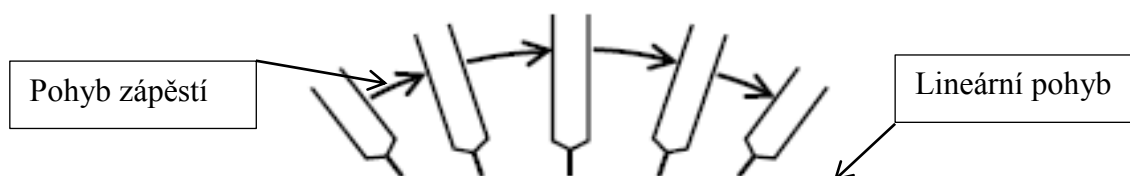
1.3.2 Ovladač Teach pendant

Teach pendant tvoří rozhraní mezi uživatelem a programovým prostředím řídicí jednotky. Je určen pro tvorbu programu při programování, ovládání pohybu robota, testování a kontrolu programu a aktuálního stavu. Skládá se z grafického LCD displeje, tlačítek, přepínače aktivace, Deadman spínače (slouží jako pojistka proti nechtěnému spuštění robota), Emergency stop (nouzové zastavení).

Programování robota se provádí systémem s učením. Programování polohy hořáku se provádí bod po bodu a lineární interpolátor udržuje pohyb mezi body po přímce. Tyto instrukce se ukládají do vytvořeného programu v paměti řídicího systému. Postupová rychlost se zadává instrukcí polohy s časovým argumentem, který určuje dobu proběhnutí zvoleného dráhového úseku hořákem. [5]

➤ Lineární pohyb robota

Manipulátor se pohybuje od jednoho naučeného bodu k druhému po přímce jak je uvedeno na obr.10. Jestliže se používá lineární pohyb pro výuku některé osy robota, je příkaz pohybu MOVL. Při pohybu mění manipulátor automaticky pohyb simulace zápěstí, jak je vidět na obr. 10. Lineární pohyb používáme u přímých komponentů, kde svařujeme přímočaře. Přímočarý neboli lineární pohyb robota můžeme také použít u svařování obvodových svarů, které si podrobně vysvětlíme v experimentální části. [5]



Obrázek 10. Lineární polohy robota

1.3.3 Svařovací zdroj

Svařovací zdroj nebo svařovací agregát je elektrické zařízení používané pro usměrnění svařovacího proudu při obloukovém svařování. Svařovací zdroj by měl splňovat celou řadu požadavků pro bezproblémové svařování.

Například regulace elektrického napětí – Volt [V] a elektrického proudu – Ampér [A] a musí odolávat vzniku krátkodobých zkratů. Musí zajistit zapálení a stabilní hoření elektrického oblouku. [4]

➤ Svařovací zdroj LSQ 5

Svařovací zdroj LSQ5, který používá firma PV – Czech je uveden na obr. 12, zajišťuje optimální energii oblouku. Jednoznačně se přizpůsobí různým svařovacím procesům. Energie neprodleně potřebná ke svařovacímu procesu je k dispozici okamžitě. Parametry svařovacího zdroje jsou uvedeny v tab.2. Flexibilní doladění se provádí pomocí centrálního procesoru. Centrální procesor nepřetržitě analyzuje proces svařování a hodnot proudu a napětí na základě získaných dat a optimálně řídí spínací tranzistory. A proto svařovací zdroje LSQ5 mají velmi vysokou účinnost. [4]



Obrázek 11. Svařovací zdroj LSQ5

Tabulka 2. Parametry svařovacího zdroje SKS

Výkonnostní charakteristika	420 A při 60% zatížení 325 A při 100% zatížení
Procesy	131 / 135, I - puls, WIG - DC
Rozměry (d / š / v)	450mm / 400mm / 540mm
Váha	49 kg

➤ Modul Q80 SKS

Modul SKS Q80 je nastavitelná, automatická jednotka pro řízení svařovacího procesu. Je srdcem celého robotického svařování. Používá se pro zadávání svařovacích parametrů, monitorování a dokumentování všech kroků svařovacího procesu v plně mechanizovaném robotickém systému. Modul Q80 je navržen k maximálnímu výkonu, vysokého stupně využitelnosti, flexibility a kompatibility. Umožňuje vzájemnou interakci mezi jednotlivými komponentami systému. Charakteristiky napájecích zdrojů nejsou závislé na hardwaru, protože všechny dynamické a statické parametry se nastavují softwarově. Digitální řídicí jednotka vypočítává ideální charakteristiky pro metody 135, oblouku a dalších důležitých svařovacích parametrů. Reguluje dynamické proudové charakteristiky, maximální proud a přenos kapky při impulsním svařování. [4]

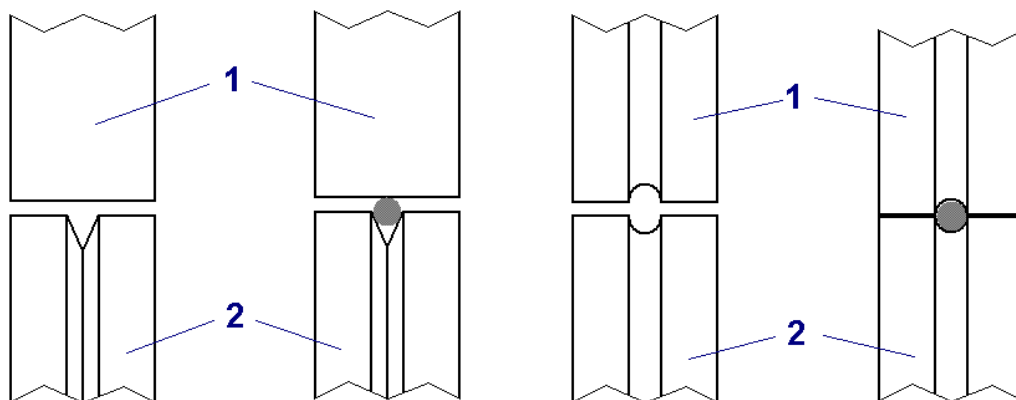
1.3.4 Podavač drátu

Do svarové lázně je potřeba konstantní rychlostí podávat svařovací drát pro dosažení stabilního procesu hoření oblouku. Tento proces nám zaručuje podavač drátu, který je znázorněn na obr. 12.



Obrázek 12. Podavač drátu

Podavač drátu je zařízení s regulačním elektromotorem a mechanickou převodovkou. Obsahuje jeden nebo více podávacích kladek. Podávací kladky mají vybrání pro svařovací drát, který je znázorněn na obr. 13. Přítlak kladek regulujeme šroubem. Přítlak kladek musí být takový, aby svařovací drát neprokluzoval v kladkách a podával nám drát plynule do svarové lázně. Ve firmě PV – Czech používáme podavač SKS, který je uveden na obr. 14.



Obrázek 13. Průřez vodičích kladek

Z podavače vystupuje drát do vodičí trubičky a do kovového nebo do teflonového bowdenu. Bowden umožňuje plynulý pohyb drátu bez odporového pohybu svařovacího drátu do svařovacího hořáku. Minimální délka pro ruční svařování je 2 m, u robotizovaného je 0,5 m. Bowdeny z teflonů jsou určeny pro vedení např. hliníkového svařovacího drátu.



Obrázek 14. Podavač SKS

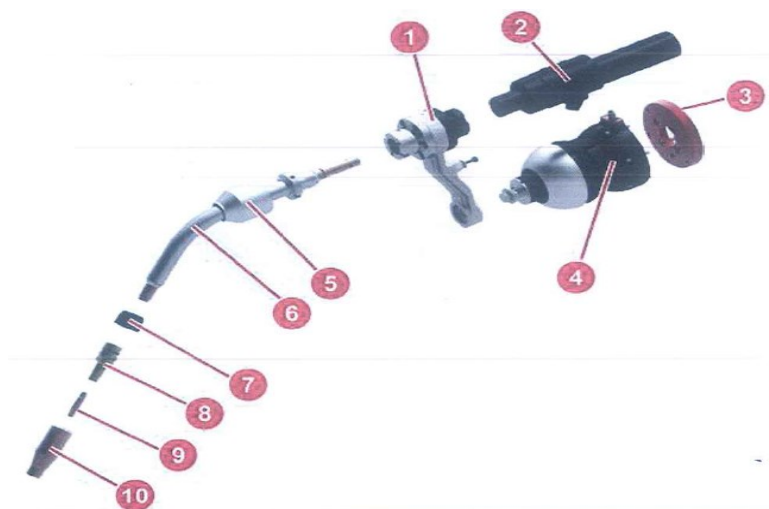
1.3.5 Svařovací hořáky

Svařovací hořáky nám zajišťují přívod drátu do místa svařování, napájení elektrickým proudem a laminární proudění ochranného plynu kolem přídavného materiálu do svaru. Pro nižší příkon je hořák chlazen proudícím ochranným plynem a u větších příkonů je svařovací hořák chlazen proudící kapalinou v uzavřeném okruhu.

➤ Svařovací hořák SKS

Svařovací hořák SKS, který se používá ve firmě PV – Czech, je nástroj pro termické svařování kovů. Všechny komponenty svařovacího hořáku SKS jsou uvedeny na obr. 15. Při práci s hořákem je velice nutná opatrnost, která předchází jakýmkoliv poruchám např. kolizi hořáku s překážkou.

Jedním z důležitých komponentů při používání svařování je kontaktní hrot a tryska ochranného plynu. Svařovací hořák a řídicí jednotka jsou propojeny svazkem svařovacích hadic. Jedním z parametrů, podle kterého se hořáky rozdělují, je podle typu chladicího systému. Používáme vzduchového nebo vodního chlazení. Jak už jsem se zmínil, výběr hořáku s vodním nebo vzduchovým chlazením závisí na rozsahu výkonu hořáku a zatěživatele. Svařovací hořáky s vodním chlazením mají velmi dlouhou životnost, a proto jsou určeny pro svařovací procesy s proudem překračujícím 300 A. Při pulzním obloukovém svařování by měly být používány hořáky jen s vodním chlazením. [4]



Obrázek 15. Svařovací hořák SKS

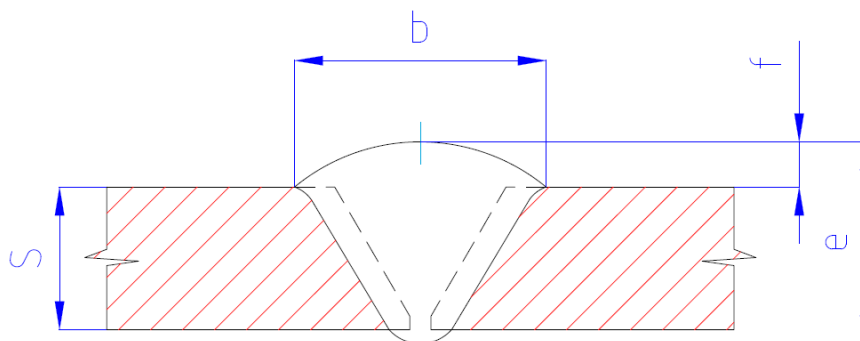
- | | |
|--|------------------------|
| 1. Držák hořáku Power Clutch | |
| 2. Napájecí kabel | 6. Tělo hořáku |
| 3. Připojovací příruba | 7. Izolace těla hořáku |
| 4. Přesná bezpečnostní spojka Power Clutch | 8. Svařovací hlavice |
| 5. Bajonetové víčko | 9. Kontaktní hrot |
| | 10. Plynová tryska |

2 Vliv svařovacích parametrů

Svařovací parametry a přídavné parametry se volí tak, aby chemické složení a mechanické hodnoty svarového kovu byly co nejbližší k hodnotám svařovaného základního materiálu.

Chemické složení, struktura a mechanické vlastnosti svarového spoje jsou závislé do značné míry na součiniteli formy svaru Ψ . Velký vliv na rozměr svaru a také na formu svaru má množství uvolněného tepla v elektrickém oblouku, který je funkcí svařovacího proudu, svařovacího napětí a rychlosti svařování. [2]

Technologické parametry svařování výrazně ovlivňují formu svaru. Na obr. 16 je vidět převýšení svaru - e , šířka svaru - b , průvar do základního materiálu - f ; součinitel formy svaru Ψ .



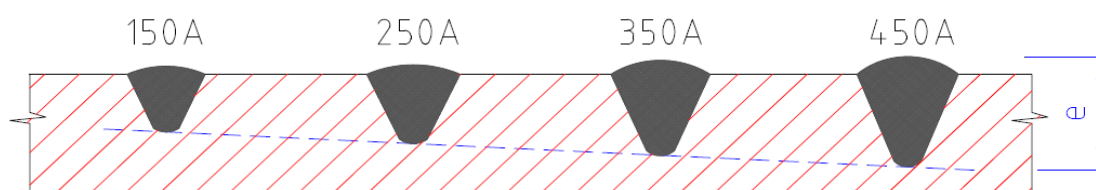
Obrázek 16. Rozměry svaru

Na tvaru a velikosti svaru mají vliv:

- hlavní svařovací parametry – napětí oblouku U [V], svařovací proud I [A], rychlost svařování v_s [m/s] nebo [Hz]
- vedlejší svařovací parametry – sklon svařovacího hořáku [°], výlet drátu [mm], průměr svařovacího drátu [mm]

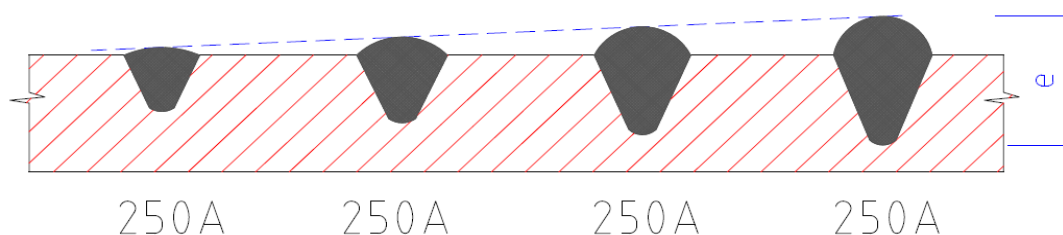
2.1 Vliv svařovacího proudu

Svařovací proud patří mezi hlavní svařovací parametry. Má velký vliv na svařování. Svařovací proud nám zajišťuje průvar neboli hloubku průvaru. Jestliže svařovací proud nastavíme k poměru tloušťky materiálu velmi vysoký, tak svar nám protaví základní materiál. Pokud je svařovací proud nízký, tak se vytvoří mírně propadlý svar. Na obr. 17 vidíme vliv svařovacího proudu na průvar základního materiálu.



Obrázek 17. Vliv svařovacího proudu na průvar

Svařovací proud ovlivňuje přímo úměrně množství nataveného kovu. Tato svařovací veličina je přímo závislá na podávání drátu. U některých svařovacích zdrojů není nastavení posuvu drátu pouze nastavení svařovacího proudu. Zvyšováním intenzity při zachování ostatních podmínek se zvyšuje proudová hustota a koncentrace tepla v kuželu elektrického oblouku, současně se zvyšuje dynamický účinek elektrického oblouku. Pokud vzniká hlubší průvar do základního materiálu, tak se zmenšuje součinitel formy svaru Ψ , převýšení svarového kovu se zvyšuje jak je uvedeno na obr. 18. [10]

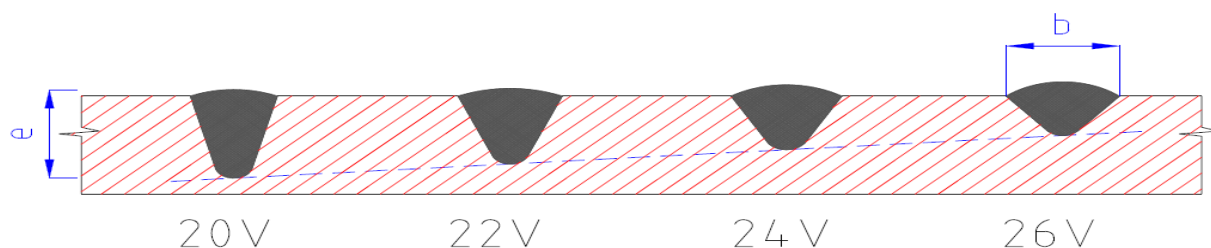


Obrázek 18. Vliv svařovacího proudu na výšku svaru

V experimentální části jsem sledoval změnu svařovacího proudu na zkušebních barelech při obvodových svarech. Důvod byla optimalizace svarových parametrů pro koutový svar při použití přídatného drátu Weko 4.

2.2 Vliv svařovacího napětí

Svařovací napětí řadíme mezi hlavní svařovací parametry. Svařovací napětí má vliv na šířku svarové housenky, jak je znázorněno na obr. 19. Při zvýšení napětí v elektrickém oblouku působí teplo na větší plochu základního materiálu a tím se hloubka průvaru zmenšuje. Tímto se šířka svarové housenky zvětšuje. Napětí je určeno k poměru svařovacího proudu a to tak, aby bylo dosaženo vhodného součinitele svaru.



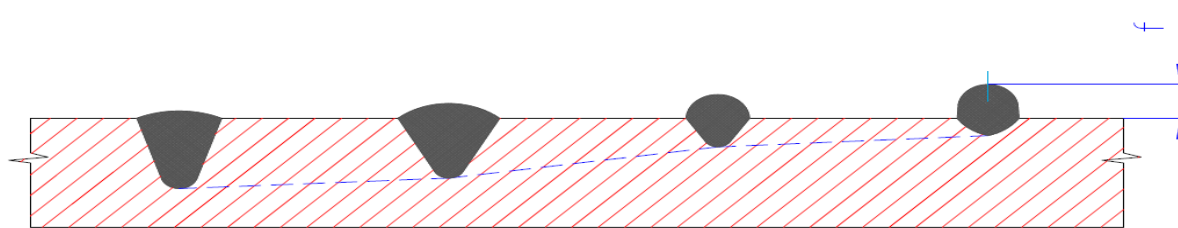
Obrázek 19. Vliv svařovacího napětí na průvar

Svařovací napětí se mění v průběhu svařování, kdy se mění délka mezery mezi svařovacím drátem a roztaveným kovem. Při zvětšení této vzdálenosti roste svařovací napětí a naopak. Při snížení této vzdálenosti se snižuje svařovací napětí. Svařovací napětí při svařování metodou 135 má velký vliv na výšku a šířku svaru. [10]

V experimentální části jsem sledoval změnu svařovacího napětí na zkušebních vzorcích při obvodových svarech.

2.3 Vliv rychlosti svařování

Při konstantním svařovacím proudu a svařovacím napětí se při změně svařovací rychlosti mění množství tepla na jednotkovou délku svaru. Při nízké rychlosti svařování může dojít k protavení základního materiálu nebo svařovací housenka bude hodně široká a propadlá. Tento vliv vidíme na obr. 20. Naopak u vyšší rychlosti svařování nedojde k potřebnému průvaru základního materiálu a proces svařování není klidný. Svarová housenka není pravidelná a je převěšená.

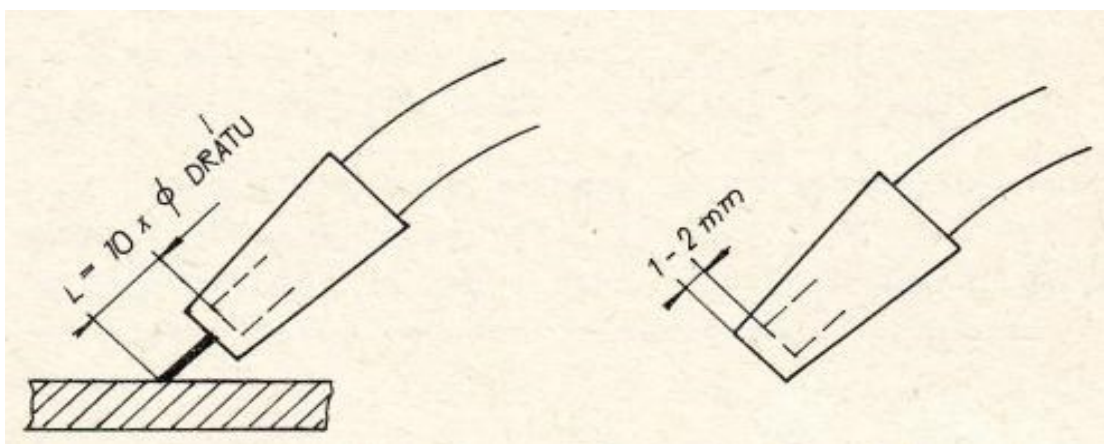


Obrázek 20. Vliv rychlosti svařování na průvar

Svařovací rychlost patří k jednomu z hlavních parametrů svařování. Správným nastavením svařovací rychlosti dosáhneme kvalitních svarů. Jak už jsem se zmínil, změna svařovací rychlosti má velký vliv na tvar a profil svaru. Toto jsem potvrdil při svařování zkušebního barelu k víčku.

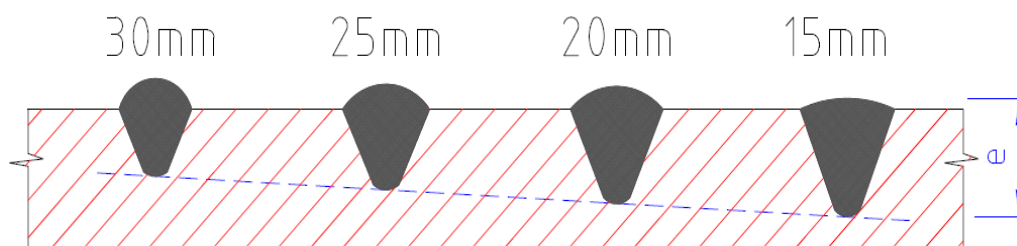
2.4 Vliv výletu drátu

Výlet drátu je vzdálenost mezi koncem špičky a svařovacím (základním) materiálem. Výlet drátu je znázorněn na obr. 21.



Obrázek 21. Nastavení výletu drátu

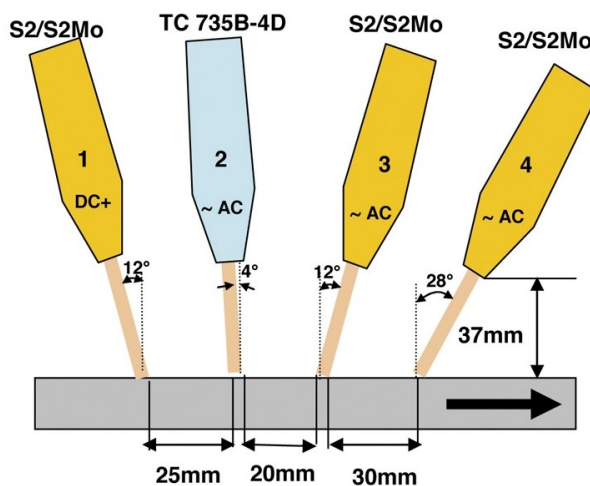
Výlet drátu je obvykle desetinásobek průměru drátu. U svařovacího drátu průměru 1,2 mm používáme nastavení výletu drátu kolem 15 mm. Jestliže nastavíme výlet drátu příliš velký, tak zapálení oblouku je horší a průvar svaru není dostatečný jak znázorňuje obr. 22. [4]



Obrázek 22. Vliv výletu drátu na svar

2.5 Vliv nastavení úhlu svařovacího hořáku

Na kvalitu svaru závisí také nastavení úhlu sklonu svařovacího hořáku, který je uveden na obr. 23. Pokud dáme svařovací hořák kolmo ke svaru, může dojít k propálení základního materiálu. Někdy je tento sklon hořáku nevyhnutelný a musí se použít z důvodu konstrukce tlakové nádoby. Správné nastavení sklonu úhlu hořáku je 45° k základnímu materiálu u metody 135. Vliv nastavení úhlu svařovacího hořáku podrobně vysvětlím v experimentální části. [10]



Obrázek 23. Úhel svařovacího drátu k základnímu materiálu

3 Základní materiál

Materiály pro tlakové nádoby musí být navrženy tak, aby byly v souladu s určitými normami, např. ČSN EN 13445-2. Materiál musí splňovat veškeré požadavky pro zpracování a provozní podmínky. Provozní podmínky jsou pracovní tlak, pracovní teplota a chladivo. [6]

Materiály jsou zařazeny do skupin ve vztahu k výrobním a kontrolním požadavkům. Materiály jsou rozděleny do skupin v souladu s jejich chemickým složením a vlastnostmi ve vztahu k výrobě a tepelnému zpracování po svařování. Materiály musí splňovat kritéria pro výrobu tlakových nádob. Materiál musí splňovat mechanické vlastnosti po celou dobu životnosti.

Materiály tlakových nádob jsou neustále zatěžovány pracovním tlakem a také jsou zatěžovány tepelně. Proto musí být materiál dostatečně houževnatý a vyhovující tažnost. Materiál je dostatečně tažný jestliže při tahové zkoušce je hodnota větší než 14% a nárazová práce na zkušební tyči je podle mezinárodní normy větší než 27 J. [6]

Materiály pro tlakové nádoby musí být odolné i proti křehkému lomu. Technologický postup svařování musí být navržen tak, aby se při svařování různých materiálů zabránilo nežádoucím účinkům. [6]

4 Vady ve svarových spojích

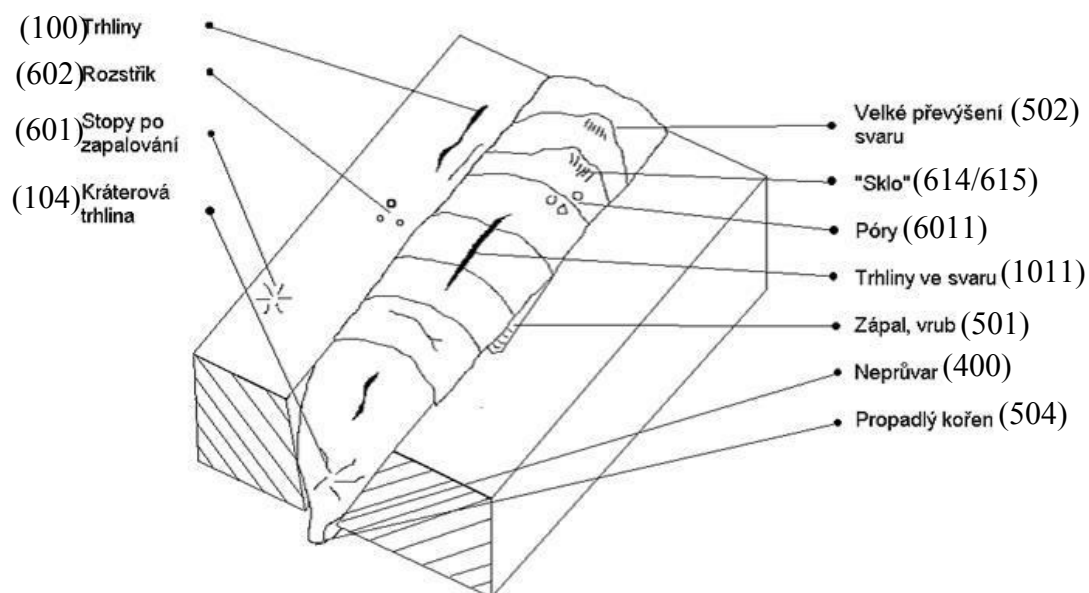
Vady ve svarech jsou nebezpečné z důvodu snížení napětí, které ovlivňují mez únavy. Vada je každá odchylka od vlastností předepsanými technickými normami, smluvními vzorky a podmínkami pro výrobu. Svarové vady můžeme zjistit pouze okem, ty které jsou na povrchu, anebo vady, které jsou uvnitř svaru, kontrolujeme pomocí přístrojů. Podle typu vad nebo podle předpisů mohou být přípustné, nepřípustné, opravitelné a neopravitelné. [2]

U přípustných vad nemusíme příčiny vad odstraňovat. Nesmí ovlivňovat funkčnost svaru. To jsou takové, kde u provozního zatížení nedojde k ohrožení bezpečnosti svarových konstrukcí.

Nepřípustné vady jsou takové, které neodpovídají povoleným hodnotám. Takto nepřípustné svary mohou být opravitelné nebo neopravitelné.

4.1 Typy vad při svařování

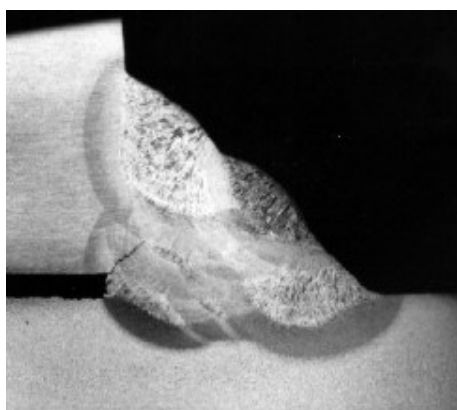
U každého procesu svařování vznikají vady a defekty svarů. Vady a defekty, které jsou ve svarových spojích, rozdělujeme podle tvaru a oblasti, kde se vady vyskytují. Podle tvaru rozdělujeme vady na bodové, objemové a vady plošné. Vady se číslují dle normy ČSN EN ISO 6520 – 1. Na obr. 24 jsou uvedeny vady svaru s číselným označením. U bodových vad se vyskytují mikropóry nebo malé vměstky. V plošných vadách se vyskytují trhliny, neprůvary a studené spoje. U objemových vad se vyskytují zápaly, vruby, vměstky. K povrchovým vadám patří například trhliny, zápaly, póry, studené spoje. Tyto vady se vyskytují na obvodových svarech, které budu svařovat v experimentální části. K vnitřním vadám patří bubliny, vměstky, póry. Zápaly, póry a studené spoje budu podrobněji řešit v experimentální části. U tlakových nádob jsou tyto vady nepřípustné. [2]



Obrázek 24. Vady svarových spojů

4.2 Příčiny vad

Vady nebo defekty, které vznikly ve svarových spojkách závisí na druhu neboli metodě svařování, parametrech svařování a na druhu materiálu, který použijeme. Vlastnosti základního materiálu jsou ovlivněny takzvanými submikroskopickými vadami, které vznikly při výrobě.



Obrázek 25. Studená trhlina ve svaru (100)

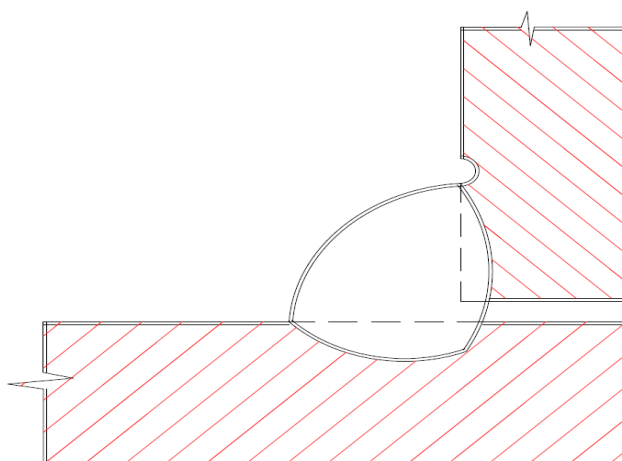
Studené trhliny jak je na obr. 25 vznikají při nízkých teplotách pod 200°C. Nejčastěji se objevují v podhousenkové oblasti svarových spojů. Dále se vyskytují v kořenové oblasti a v koncových oblastech svaru. Tyto trhliny vznikají příčně nebo podélně. Nejčastější problém u obvodových svarů máme s kráterovou trhlinou na obr. 26.

Vzniká při náhlém ukončení svařování. Vznikají v dutině kráteru a jsou zapříčiněny smršťováním při tuhnutí svarového kovu. [2]



Obrázek 26. Koncový kráter (104)

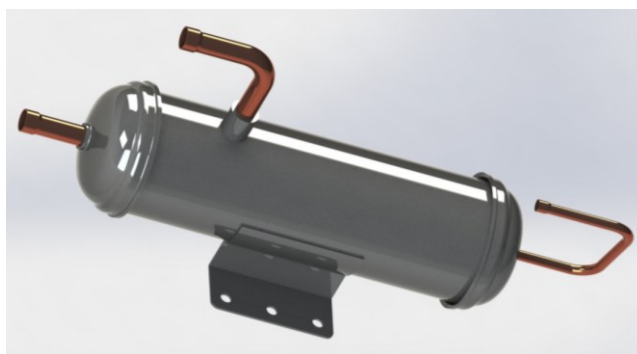
Další závažnou vadou u obvodových svarů jsou takzvané zápaly, který je uveden na obr. 27. Je to prohloubení na hranicích svarové housenky a základního materiálu. Nejvíce se vyskytují u koutových svarů. Příčinou vzniku zápalu je vysoký svařovací proud, špatný oblouk, nevhodný průměr svařovacího drátu a špatně nastavená rychlost svařování.



Obrázek 27. Zápal ve svaru (501)

5 Experimentální část

V experimentální části se zabývám optimalizací svařovacího proudu, svařovacího napětí, svařovací rychlosti a vlivu nastavení svařovacího hořáku. Svařovací parametry budu zkoušet na tlakové nádobě, která je uvedena na obr. 28. Na zkušebních vzorcích budu svařovat obvodový svar, víko k plášti. Navrhnou typ svarových spojů pro obvodové svary určené tlakové nádoby, základní materiál a jeho chemickou úpravu před svařováním.



Obrázek 28. Tlaková nádoba

5.1 Základní materiál P265GH

Pro plášť byl navržen materiál P265GH pro nátrubky materiál P265GH nebo P235GH. Pro víka jsem zvolil materiál P265GH. Ocel P265GH je jemnozrnná, nízkouhlíková, neušlechtilá, nelegovaná ocel. Ocel je určená pro vyšší teploty, žárovečná. U této oceli je žádána zvýšená odolnost proti stárnutí. Tato ocel je použita na součásti kotlů a tlakových nádob. V tab. 3 je uvedeno chemické složení oceli P265GH.

Tabulka 3. Chemické vlastnosti materiálu P265GH

Chem. Složení [hm%]	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr
	max0,2	max0,4	0,5- 1,41	max0,03	max0,025	min0,2	max0,3
Chem. Složení [hm%]	Mo	Nb	Ni	Ti	V	Cu	N
	max0,08	max0,01	max0,3	max0,03	max0,02	max0,3	max0,01

Při tepelném zpracování (svařování) musí být zaručeny a doloženy mechanické vlastnosti, které jsou uvedeny v tab. 4. Je to mez kluzu R_e , mez pevnosti R_m , tažnost A_5 a nárazová práce KV.

Tabulka 4. Mechanické vlastnosti materiálu P265GH

Mez kluzu R_e	min 235 MPa
Mez kluzu R_e	max 354 Mpa
Mez pevnosti R_m	410-530 Mpa
Tažnost A_5	min 24%
Nárazová práce Kv	min 27 J

U chemické analýzy prvků v ocelích je také uvedení metalurgické čistoty. Metalurgická čistota je z důvodu přesného omezení obsahů doprovodných prvků. Jejich soustředování na hranicích zrn v průběhu svařování dosahuje k výraznému zkřehnutí oceli. Metalurgická čistota se zvyšuje především přesným obsahem fosforu a síry z důvodu lepší plasticity na hranicích zrn. [10]

5.2 Svarové plochy

Svarové plochy pro tlakové nádoby ve firmě PV – Czech volíme podle norem:

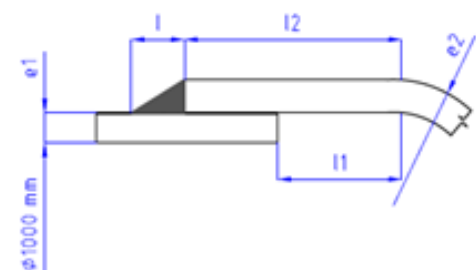
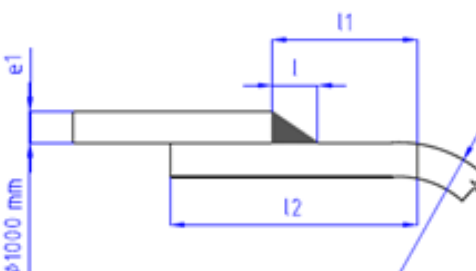
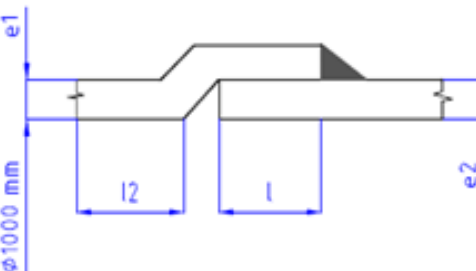
- **ČSN EN 13445** Netopené tlakové nádoby
- **ČSN EN 14276 – 1** Tlaková zařízení a chladicí zařízení a tepelná čerpadla
- **ČSN EN 1708 – 1** Detaily základních svarových spojů na oceli –tlakové součásti

5.2.1 Obvodové svary

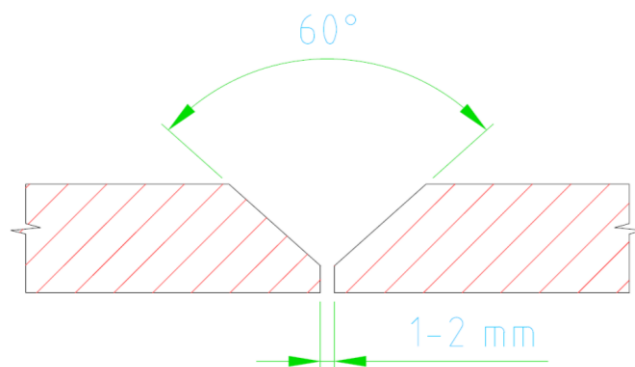
Obvodové svary nám spojují tělo tlakové nádoby s víky neboli tzv. dna. Volba úkosů pro obvodové svary nám určí jakou metodou se bude svařovat, velikost nebo průměr nádoby a také určité normy, které nám určují tvar a rozměr svařovacího úkosu. Úkos by měl být navržen tak, aby byl svařitelný metodou, kterou jsme určili a zaručena dostupnost svařovacího hořáku robota.

Normy, které nám určují obvodové svary pro tlakové nádoby, jsou např. ČSN EN 13445-3, ČSN EN 1708 - 1. Pro výrobu používáme normu ČSN EN 14276 – 1, tlaková zařízení, chladicích zařízení a tepelných čerpadel. Pro stanovení svaru se tato norma odkazuje na normu ČSN EN 13445. V tab. 5 jsou uvedeny druhy spojů z normy ČSN EN 14276 – 1.

Tabulka 5. Typy svarů pro obvodové svary ČSN EN 14276-1

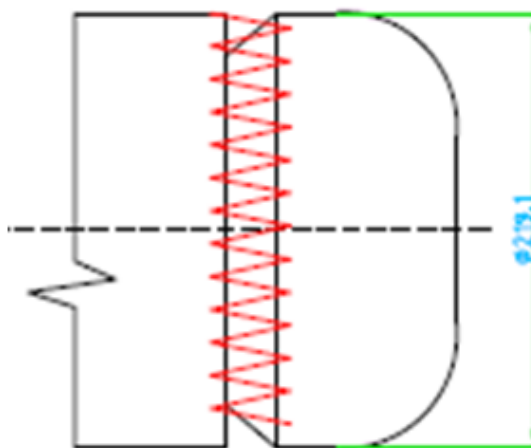
Druh spoje	Konstrukční požadavky
	$\geq 1.3 \times e1$; $e1 < 6 \text{ mm}$; $e2 < 16 \text{ mm}$ pro elipsoidní dna: $l1 > 2 \times e2$: ale ne méně než 12 mm pro ostatní dna: $l1 > 2e2 + 12 \text{ mm}$ $l2 > 3 \times e2 + 12 \text{ mm}$, ale ne méně než 25 mm
	$\geq 1.3 \times e1$; $e1 < 16 \text{ mm}$; $e2 < 16 \text{ mm}$ pro elipsoidní dna: $l1 > 2 \times e2$: ale ne méně než 12 mm pro ostatní dna: $l1 > 2e2 + 12 \text{ mm}$ $l2 > 3 \times e2 + 12 \text{ mm}$, ale ne méně než 25 mm
	$2e1 < l < 3 e1$; $e1 < 16 \text{ mm}$; $e2 < 16 \text{ mm}$ pro elipsoidní dna: $l1 > 2 \times e2$: ale ne méně než 12 mm pro ostatní dna: $l1 > 2e2 + 12 \text{ mm}$ $l2 > 3 \times e2 + 12 \text{ mm}$, ale ne méně než 25 mm

První způsob obvodových svarů je na tzv. na plný průvar. Plný průvar nám určuje úkos V svar nebo půl V svar , který je znázorněn na obr. 29.



Obrázek 29. Úkos pro obvodový svar - plný průvar

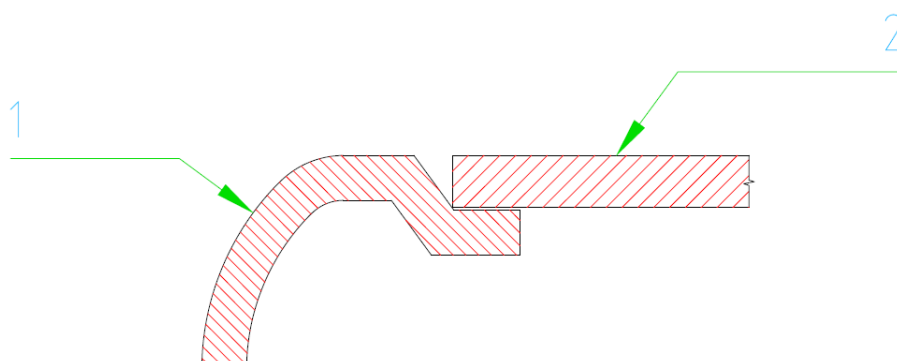
Úkos na barelu nebo na víku se provádí třískovým obráběním na soustruhu nebo speciálním strojem na úkosity. Což by bylo pro velký počet vyráběných tlakových nádob velmi drahé a neefektivní. Dále by bylo složité nastavení svařovacího robota pro svaření kořenové mezery V svaru. Mohli bychom kořenovou vrstvu vyplnit tzv. rozkyvem hořáku. To znamená nastavení chodu svařovacího hořáku od víka k barelu ve velké rychlosti. Tento pohyb svařovacího hořáku vidíme na obr. 30.



Obrázek 30. Rozkýv hořáku

Plně provařený svar není pro tuto tlakovou nádobu efektivní, jak z hlediska přípravy materiálu, tak i pro samostatný svařovací proces.

Dalším typem obvodových svarů je svar na podložku, který je ukázán na obr. 31. Víka jsou rolována tak, aby nám dosedly do barelů a vytvořily podložku pro svar.



Obrázek 31. Víko vsazené do barelu: 1-Víko; 2-barel

Rolováním se odstraní operace třískového obrábění. Pro velkosériovou výrobu je tato výroba svarového spoje nejvýhodnější. Pro výrobu, pro seřízení svařovacího robota, tak i pro jednodušší konstrukci svařovacích přípravků. Tento druh svarového spoje nám povoluje norma ČSN EN 14276 – 1. [9]

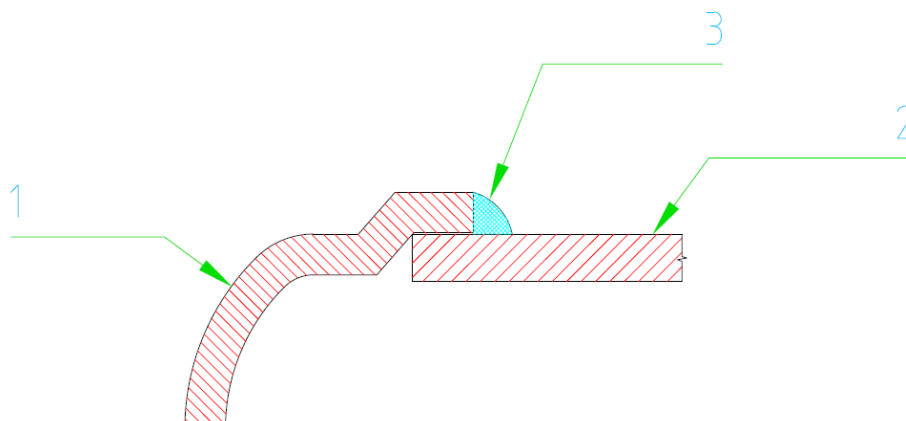
Pokud použijeme obvodový svar s podložnou deskou, musí být splněny tyto podmínky:

- Druhá strana svaru je pro svařování nepřístupná.
- Riziko koroze není zvýšeno přítomností podložné desky.
- Únava není určujícím faktorem konstrukce.
- Materiál podložné desky musí být považován za část, která nepřenáší tlak, ale je přivařen k části zatížené tlakem a tento použitý materiál musí splňovat příslušné požadavky kompatibility a dokumentace.
- Postup svařování byl zkoušen s podložnou deskou.
- Tloušťka podložné desky musí být omezena na maximálně 6 mm nebo na tloušťku základního materiálu +1 mm.
- Vnitřní průměr ≤ 610 mm.
- Tloušťka ≤ 16 mm.
- Spára svaru ≤ 2 mm.

Při svařování obvodových svarů nastavíme lineární pohyb robota. Dále je popsáno nastavení svařovacího hořáku, jeho pohyb i poloha. Pokud je svařovací mezera velká, použijeme už zmíněného pendlu.

Další volba svarového spoje pro obvodové svary může být koutový svar, který je znázorněn na obr. 32.

Koutového svaru dosáhneme tak, že víko vylisujeme s větším průměrem, než je barel s dosedací plochou, která nám nastaví rozměr celkové délky tlakové nádoby.



Obrázek 32. Víko přes barel: 1-víko; 2-barel; 3-koutový svar

Tento druh spoje je uveden v normě ČSN EN 14276 – 1. Tyto druhy vík používáme do $\varnothing 163$ mm. Koutový svar je jednodušší pro nastavení svařovacího robota. U koutového svaru nepotřebujeme mnoho přídavného materiálu. V experimentální části si podrobně probereme nastavení svařovacího hořáku, jak jeho pohyb, tak i úhel při svařování tohoto druhu spoje. [7]

5.3 Chemická úprava základního materiálu před svařováním

Svarové plochy musí být důkladně očištěny od oxidů, okují, olejových nečistot. Z tohoto důvodu používáme pasivaci a fosfátování. Součásti tlakové nádoby se ukládají na dopravník, který projíždí myčkou. Myčka obsahuje dvě komory s chemickými prostředky. První komora obsahuje produkt pro fosfátování (odmaštění) a druhá komora obsahuje produkt pro pasivaci. U fosfátování a pasivaci je důležitá teplota a tlak roztoku, který je rozprašován na materiál pomocí trysek.

5.3.1 Fosfátování

Je chemická metoda úpravy povrchů oceli, při které se na základním materiálu tvoří nesnadno rozpustné kovové fosfátové vrstvy. Vytvořené vrstvy jsou porézní, nasákavé a jsou bez další úpravy jako povrch pro následné lakování.

Při fosfátování záleží na tlaku vody, teplotě vody a kyselosti, které se musí kontrolovat pravidelně a zaznamenávat do dokumentace. Produkt pro fosfátování používáme Dexphos1030.

5.3.2 Pasivace

Pasivace je chemická metoda úpravy povrchů oceli. Je to samovolná nebo řízená tvorba ochranné vrstvy na povrchu kovu zabraňující korozi a narušení povrchu. Komponenty jsou opločovány produktem Dexal 5100 při tlaku 1,5 bar. Teplota koncentráту je min. 20°C

5.4 Svařování vzorků

Cílem této práce je navrhnout optimální svařovací parametry na tlakové nádobě, která je uvedena na obr. 28. Svarové spoje jsou navrženy tak, aby byly v souladu s normami, které předepisují typy svarů pro tlakové nádoby. Všechny vzorky budu svařovat metodou 135. Svařovací zdroj používáme SKS LSQ5, rameno robota YASKAWA-MOTOMAN, který je znázorněn na obr. 33.

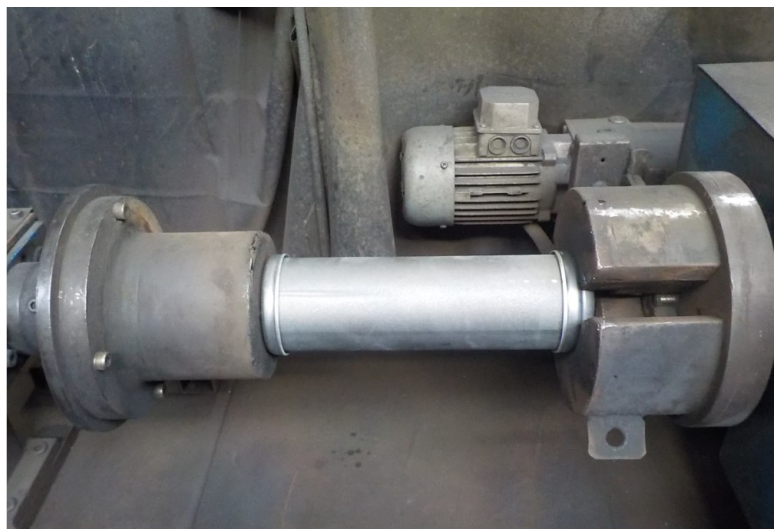


Obrázek 33. Robot Yaskwa-Motoman

Testy svaru jsou prováděny na komponentech tlakové nádoby. Rozměry jsou uvedeny na výkresech v příloze. Zkušební kus se skládá z barelu a ze dvou vík.

Všechny komponenty jsou chemicky upraveny. Svarové hrany nejsou mechanicky opracovány z důvodu tvaru víka, které používáme.

Nasazená víka na barel vložíme do tzv. rotačního kalibru, který je na obr. 34, kde jsou pomocí pneumatiky stlačeny silou maximálně 2 bar. Písty, které nám přitlačí víka k barelu, musí být v ose. To nám zaručí, že víka dosednou kolmo na osu barelu.



Obrázek 34. Rotační kalibr se vzorkem

Na takto připraveném zkušebním vzorku budeme zkoušet různé svařovací parametry, než dosáhneme optimálních svařovacích parametrů.

5.4.1 Přídavný materiál WDI WEKO 4

Nepoměděný drát pro svařování nízkolegovaných jemnozrných ocelí s minimální mezi kluzu do 460 MPa ve směsném plynu Ar/CO_2 nebo do 420 MPa v CO_2 . Drát umožňuje svařování vysokým proudem (sprchový proces) a má krátký přenos oblouku v poloze vodorovné i mimo polohu vodorovnou. Je vhodný pro všechny typy poloh. Tento drát je určen pro svařování materiálů P235/S235 až P460/S460. Tento typ drátu používáme podle typu základního materiálu P265. V tab. 6 jsou uvedeny chemické složení a mechanické vlastnosti přídavného materiálu WDI Weko. Drát se vyrábí v průměrech 0,8 – 1,2 mm. [1]

Tabulka 6. Chemické složení a mechanické vlastnosti WDI Weko

Typ drátu	chem. složení svarového kovu				mechanické vlastnosti svarového kovu				klasifikace ČSN EN ISO 14171
	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Mo [%]	Re [MPa]	Rm [MPa]	A ₅ [%]	KV [J]	
WDI WEKO	0,07	0,98	1,63	0,1	> 530	600	20	47	G46 4 M21 4Si1

5.4.2 Nastavení svařovacího proudu

Pro správné nastavení svařovacího proudu jsem použil čtyři vzorky očíslované od 1 do 4. Na každém kusu vzorku jsem změnil velikost proudu. Svařovací parametry jsou uvedeny v tab. 7. Při změně proudu se změnil posuv přidavného drátu. Napětí a rychlost svařování zůstali na všech zkušebních vzorcích konstantní. Svařené vzorky jsou uvedeny na obr. 35 – 38.

Tabulka 7. Nastavení svařovacího proudu

Číslo Vzorku	Svařovací proud [A]	Svařovací napětí [V]	Posuv drátu [m/min]	Rychlost svařování [Hz]	Úhel hořáku [°]	Výlet drátu [mm]
1	220-230	26,4-26,8	12,0	100	20-45	15
2	200-210	26,4-26,8	10,1	100	20-45	15
3	240-250	26,4-26,8	14,4	100	20-45	15
4	280-290	26,4-26,8	18,1	100	20-45	15



Obrázek 35. Vzorek č. 1



Obrázek 37. Vzorek č.2



Obrázek 36. Vzorek č. 3



Obrázek 38. Vzorek č. 4

Během svařování jsem hodnotil stabilitu oblouku hoření. U každého testovacího vzorku byl proces svařování stabilní, jak je uvedena v tab. 8.

Tabulka 8. Hodnocení svařování se změnou proudu

Hodnocení průběhu svařování se změnou nastavení proudu					
Číslo vzorku	Svařovací proud [A]	Subjektivní hodnocení	Stabilita hoření oblouku	Vyhodnocení průběhu svařování	Změna průběhu svařování
1	220-230	Dobry	Stabilni	Vyhovuje	Bez zmen
2	200-210	Dobry	Stabilni	Vyhovuje	Bez zmen
3	240-250	Dobry	Stabilni	Vyhovuje	Bez zmen
4	280-290	Dobry	Stabilni	Vyhovuje	Bez zmen

Po svaření vzorku jsem hodnotil vizualizaci svaru v tab. 9. U tří vzorků vizuální kontrola vyhověla. U posledního vzorku č. 4 byl svar nepravidelný, jak nepravidelností kresby svaru, tak i šířka svaru kolísala.

Tabulka 9. Vizuální hodnocení

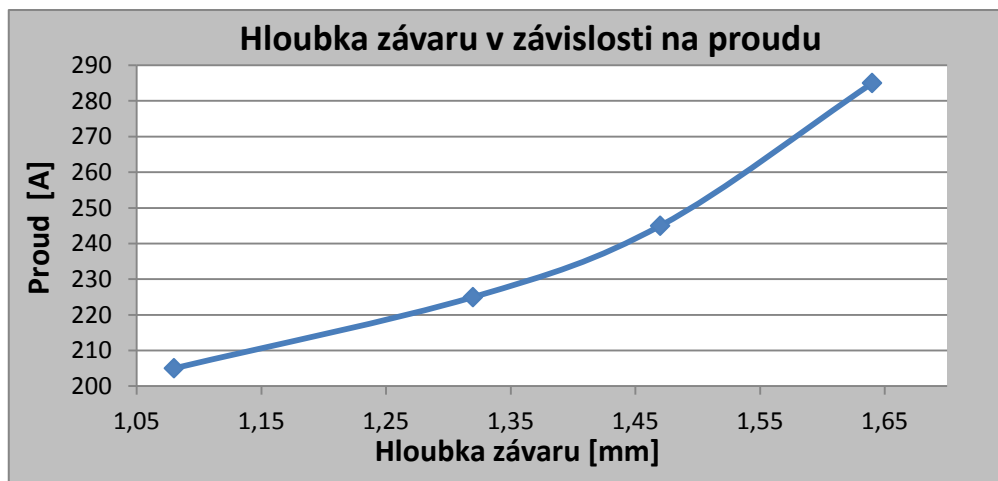
Vizuální hodnocení povrchu svarů					
Číslo vzorku	Svařovací proud [A]	Pravidelnost kresby svaru	Kresba povrchu svaru	Zápal	Vizuální hodnocení svaru
1	220-230	Pravidelný	Šípovitý	Ne	Vyhovuje
2	200-210	Pravidelný	Šípovitý	Ne	Vyhovuje
3	240-250	Pravidelný	Šípovitý	Ne	Vyhovuje
4	280-290	Nepravidelný	Šípovitý	Ano	Nevyhovuje

Z každého svařovaného kusu se odebral vzorek pro makroskopickou zkoušku v tab 10. Na zřetel jsem bral hloubku průvaru, šířku svaru, výšku svaru a vady ve svaru. U tří vzorků zkouška makrostruktury byla vyhodnocena bez vad.

Poslední vzorek č. 4 nevyhověl. Na okrajích svaru byly nalezeny zápaly a základní materiál má nadměrný průvar. Takto nastavené svařovací napětí u posledního vzorku jsem zamítl. Svařovací proud má velký vliv na průvar, šířku svaru a výšku svaru. Závislost svařovacího proudu je znázorněno na grafu 1 – 3.

Tabulka 10. Hodnocení macrostruktury

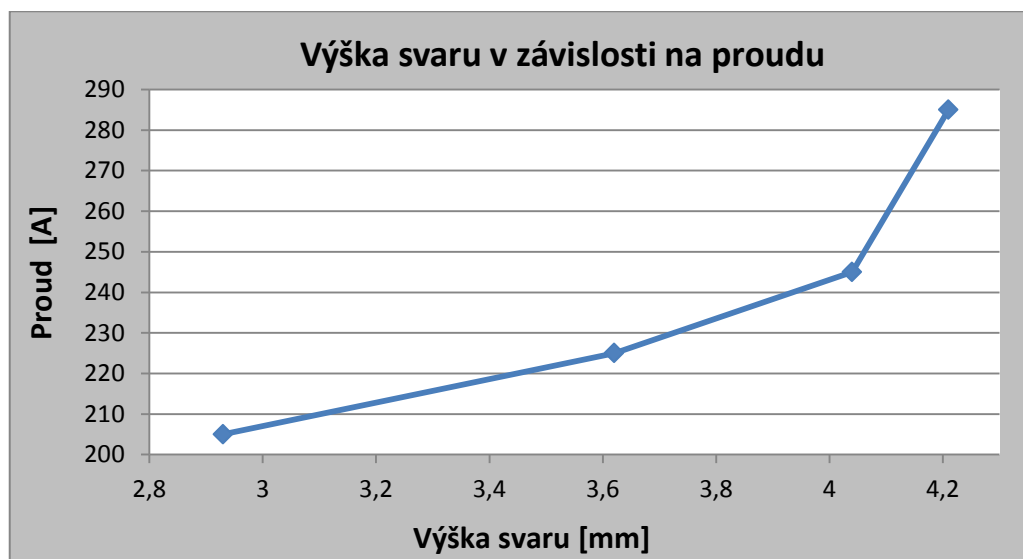
Hodnocení macrostruktury se změnou nastavení proudu						
Číslo vzorku	Svařovací proud [A]	Hloubka závaru	Šířka svaru	Výška svaru	Vady ve svaru	Vyhodnocení
1	220-230	1,32	10,87	3,62	Bez vad	Vyhovuje
2	200-210	1,08	9,32	2,93	Bez vad	Vyhovuje
3	240-250	1,47	11,45	4,04	Bez vad	Vyhovuje
4	280-290	1,64	11,96	4,21	Zápal	Částečně protavený materiál



Graf 1. Hloubky závaru v závislosti na proudu



Graf 2. Šířka svaru v závislosti na proudu



Graf 3. Výška svaru v závislosti na proudu

5.4.3 Nastavení svařovacího napětí

Pro správné nastavení svařovacího napětí jsem použil čtyři vzorky. Vzorky jsem očísloval od 5 do 8. Na každém kusu vzorku jsem změnil velikost napětí, které je uvedeno v tab. 11. Napětí a rychlost svařování zůstaly na všech vzorcích konstantní. Svařené vzorky jsou na obr. 39 – 42.

Tabulka 11. Nastavení svařovacího napětí

Číslo Vzorku	Svařovací proud [A]	Svařovací napětí [V]	Posuv drátu [m/min]	Rychlost svařování [Hz]	Úhel hořáku [°]	Výlet drátu [mm]
5	220-230	26,4-26,8	12,0	100	20-45	15
6	220-230	22,4-22,8	12,0	100	20-45	15
7	220-230	28,0-28,4	12,0	100	20-45	15
8	220-230	30,0-30,4	12,0	100	20-45	15



Obrázek 39. Vzorek č. 5



Obrázek 40. Vzorek č. 6



Obrázek 41. Vzorek č. 7



Obrázek 42. Vzorek č. 8

Během svařování jsem hodnotil zvuk hoření oblouku v tab. 12. U tří vzorků byl proces svařování klidný. U posledního vzorku č. 8 bylo svařování nepravidelné neboli nestabilní.

Tabulka 12. Hodnocení průběhu npětí

Hodnocení průběhu svařování se změnou nastavení napětí					
Číslo vzorku	Svařovací napětí [V]	Subjektivní hodnocení	Stabilita hoření oblouku	Vyhodnocení průběhu svařování	Změna průběhu svařování
5	26,4-26,8	Dobrý	Stabilní	Vyhovující	Bez změn
6	22,4-26,8	Dobrý	Stabilní	Vyhovující	Bez změn
7	28,0-28,4	Dobrý	Stabilní	Vyhovující	Bez změn
8	30,0-30,4	Nepravidelný	Nestabilní	Nevyhovuje	Nestabilní proces

Po svaření vzorku jsem hodnotil vizuální pohled svaru, tab. 13. U vzorků 5 a 6 jsou svarové housenky pravidelné, pravidelná kresba svaru bez vizuálních vad. Vzorek č. 7 je po obvodu nepravidelný. Šířka housenky kolísá. Kresba housenky je hladká bez vad. Toto nastavení parametrů je pro nás nevyhovující. U posledního vzorku č. 8 je kresba svaru šípovitá a po obvodu je pravidelná.

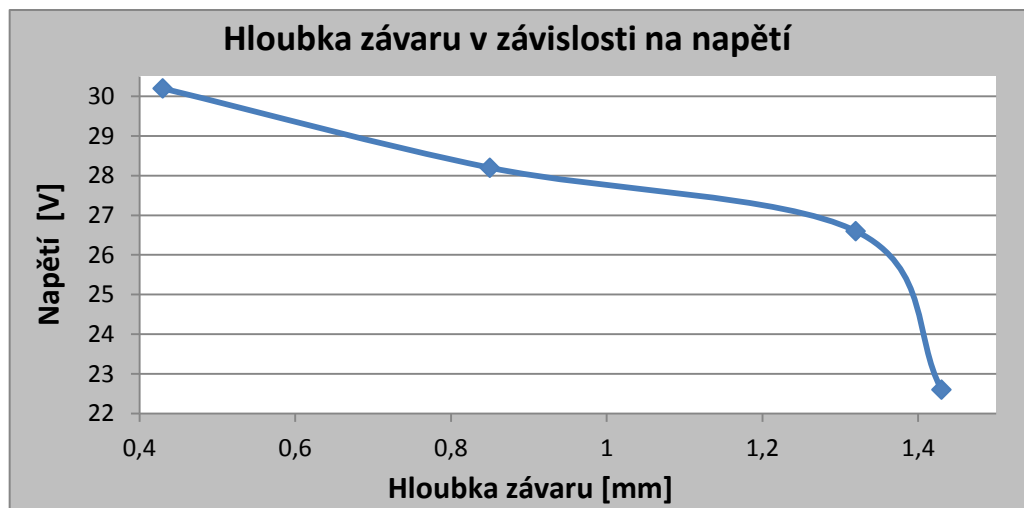
Tabulka 13. Vizuální hodnocení

Vizuální hodnocení povrchu svarů					
Číslo vzorku	Svařovací napětí [V]	Pravidelnost kresby svaru	Kresba povrchu svaru	Zápal	Vyhodnocení vizuálního hodnocení svaru
5	26,4-26,8	Pravidelný	Šířovitý	Ne	Vyhovující
6	22,4-26,8	Pravidelný	Šířovitý	Ne	Vyhovující
7	28,0-28,4	Nepravidelný	Hladký	Ne	Nevyhovující, svár je roztáhlý
8	30,0-30,4	Pravidelný	Šířovitý	Ne	Vyhovuje

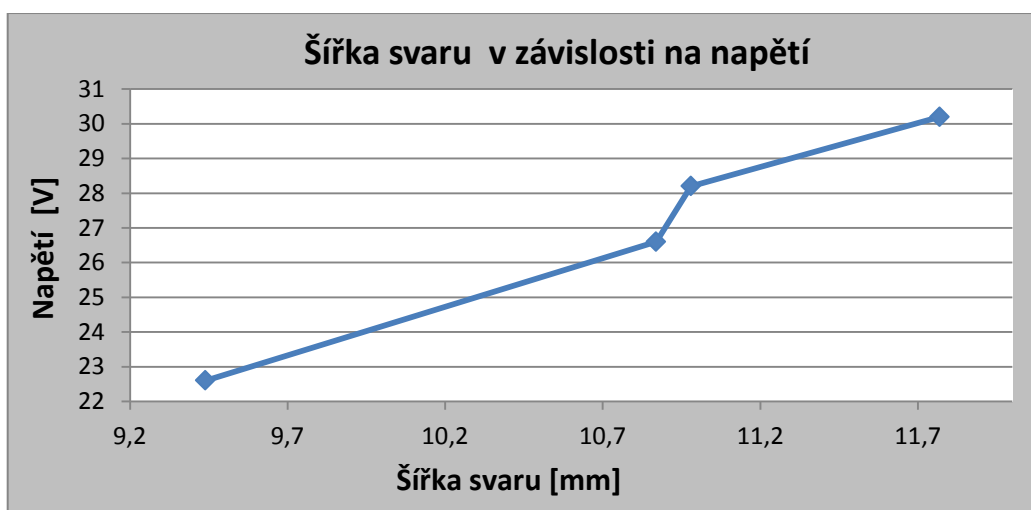
Z každého svařovaného kusu jsem odebral vzorek pro makroskopickou zkoušku v tab.14. Na zřetel jsem bral hloubku průvaru, šířku svaru, výšku svaru a hlavně vady ve svaru. U vzorků č. 5 a č. 6 je zkouška vyhovující. Dobře provařený základní materiál, tak i další parametry svarové housenky jsou vyhovující. U vzorku č. 7 jsem naměřil malý průvar základního materiálu. Stejně tak to je i u vzorku č. 8, kde jsme naměřili také příliš širokou housenku. Svařovací parametry u vzorků č. 7 a 8 jsou pro nás nevhodné. Svařovací napětí má velký vliv na průvar a šířku svaru. Závislost svařovacího napětí je znázorněno na grafu 4 – 6.

Tabulka 14. Hodnocení makrostruktury se změnou napětí

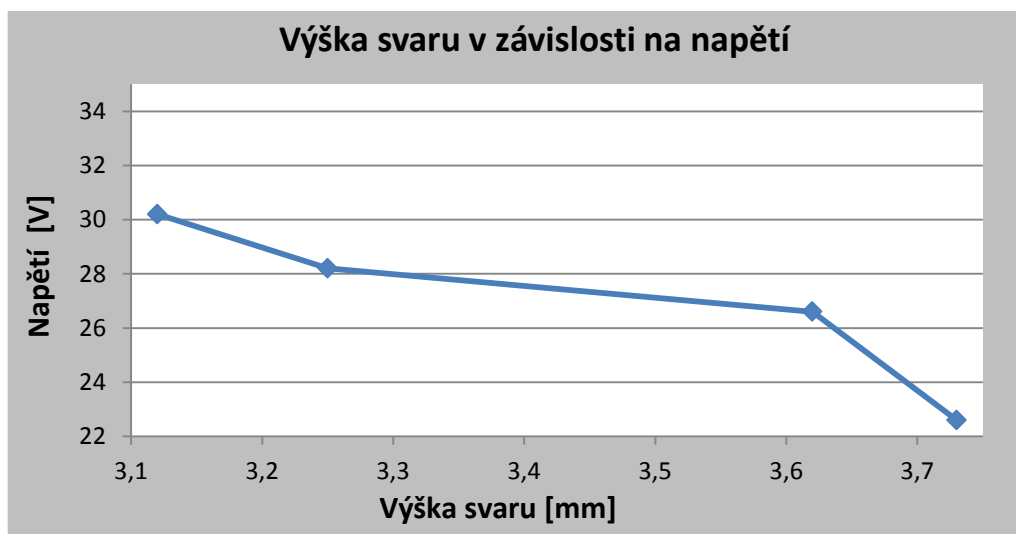
Hodnocení macrostuktury se změnou napětí						
Číslo vzorku	Svařovací napětí [V]	Hloubka závaru	Šířka svaru	Výška svaru	Vady ve svaru	Vyhodnocení
5	26,4-26,8	1,32	10,87	3,62	Bez vad	Vyhovuje
6	22,4-22,8	1,43	9,44	3,73	Bez vad	Vyhovuje
7	28,0-28,4	0,85	10,98	3,25	Bez vad	Nevyhovuje, neprůvar
8	30,0-30,4	0,43	11,77	3,12	Bez vad	Nevyhovuje, neprůvar



Graf 4. Hloubka závaru v závislosti na napětí



Graf 5. Šířka svaru v závislosti na napětí



Graf 6. Výška svaru v závislosti na napětí

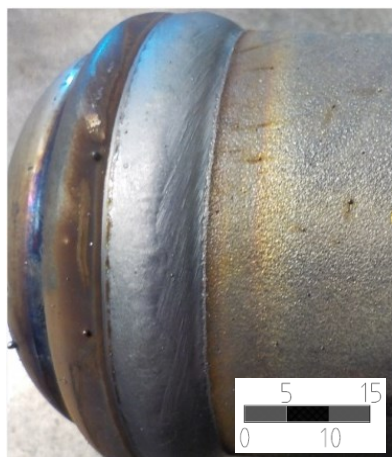
5.4.4 Nastavení výletu drátu

Při tomto testu použijeme 3 zkušební vzorky, které jsou označeny č. 9 až č. 11, které jsou znázorněny na obr. 43 – 45. Na každém kusu změníme vzdálenost vysunutí svařovacího drátu ze svařovací hubice neboli změnu výletu drátu.

První kus budeme svařovat běžnými svařovacími parametry. Výlet drátu je 15 mm od svařovací hubice. U dalších vzorků jsme zkrátili výlet drátu na 10 mm a zvětšili na 23 mm. Svařovací parametry, který jsem použil jsou uvedeny v tab. 15.

Tabulka 15. Nastavení výletu drátu

Č. vzorku	Výlet drátu (mm)	Svařovací proud I (A)	Svařovací napětí U (V)	Rychlost svařování (Hz)	Sklon svařovacího hořáku (°)
9	15	220	26,4	100	20-45
10	10	220	26,4	100	20-45
11	23	220	26,4	100	20-45



Obrázek 43. Vzorek č. 9



Obrázek 44. Vzorek č. 10



Obrázek 45.Vzorek č. 11

Během svařování jsem hodnotil průběh hoření oblouku v tab. 16. U každého vzorku je oblouk stabilní.

Tabulka 16. Hodnocení průběhu svařování se změnou výletu drátu

Hodnocení průběhu svařování se změnou výletu drátu					
Číslo vzorku	Výlet drátu mm	Subjektivní hodnocení	Stabilita hoření oblouku	Vyhodnocení průběhu svařování	Změna průběhu svařování
9	15	Dobrý	Stabilní	Vyhovuje	Bezezměn
10	10	Dobrý	Stabilní	Vyhovuje	Bezezměn
11	23	Dobrý	Stabilní	Vyhovuje	Bezezměn

Po svaření vzorku jsem provedl vizuální kontrolu svaru, které je uvedeno tab. 17. U všech tří vzorků vizuální kontrola vyhověla. Svar je po celém obvodu stejnoměrný. Kresba je u vzorků č. 9 a 11 šípovitá. U vzorku č. 10 je kresba hladká. Svařovací parametry pro vizuální kontrolu jsou vyhovující pro všechny tři vzorky.

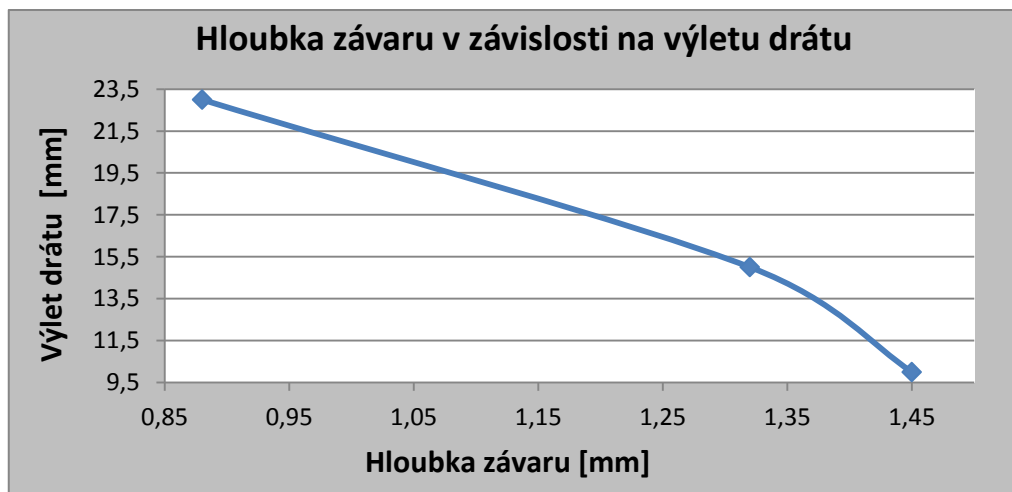
Tabulka 17. Hodnocení povrchu svaru

Vizuální hodnocení povrchu svarů					
Číslo vzorku	Výlet drátu mm	Pravidelnost kresby svaru	Kresba povrchu svaru	Zápal	Vyhodnocení vizuálního hodnocení svaru
9	15	Pravidelný	Šípovitý	Ne	Vyhovuje
10	10	Pravidelný	Hladký	Ne	Vyhovuje
11	23	Pravidelný	Šípovitý	Ne	Vyhovuje

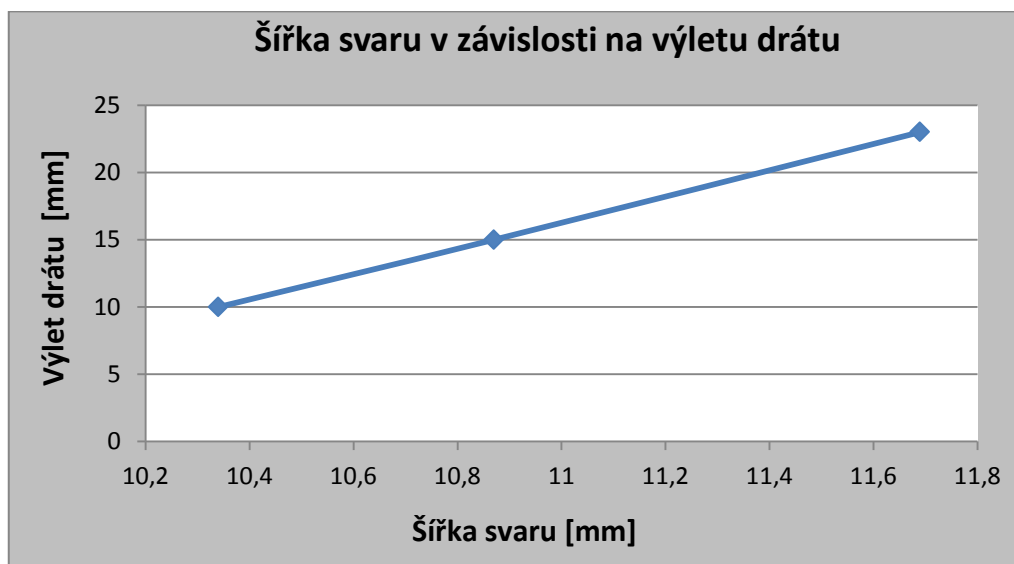
Z každého svařovaného vzorku jsem odebral vzorek pro makroskopickou zkoušku v tab.18. Testoval jsem především hloubku průvaru, šířku svaru, výšku svaru a hlavně vady ve svaru. U vzorků 9 a 10 je zkouška vyhovující. Dobře provařený základní materiál, tak i další parametry svarové housenky, jsou vyhovující. U vzorku č. 11 jsem naměřil nedostačující průvar základního materiálu. Svařovací parametry pro tento vzorek jsou pro nás nevyhovující. Výlet drátu má velký vliv na průvar, šířku svaru a výšku svaru. Závislost parametrů na změnu výletu drátu je znázorněno na grafu 7 – 9.

Tabulka 18. Hodnocení macrostruktury se změnou výletu drátu

Hodnocení macrostruktury se změnou výletu drátu						
Číslo vzorku	Výlet drátu [mm]	Hloubka závaru	Šířka svaru	Výška svaru	Vady ve svaru	Vyhodnocení
9	15	1,32	10,87	3,62	Bez vad	Vyhovuje
10	10	1,45	10,34	3,75	Bez vad	Vyhovuje
11	23	0,88	11,69	2,96	Póry	Neprůvar



Graf 7. Hloubka závaru v závislosti na výletu drátu



Graf 8. Šířka svaru v závislosti na výletu drátu



Graf 9. Výška svaru v závislosti na výletu drátu

5.4.5 Nastavení rychlosti svařování

Pro správné nastavení svařovacího napětí jsme použili tři vzorky očíslované od 12 do 14, které jsou uvedené na obr. 47 – 49. Na každém kusu vzorku jsme změnili rychlost svařování. Rychlost svařování se obvykle nastaví tak, aby se svařovací hořák posouval po základním materiálu optimální rychlostí, a to pro určitý typ svaru.

Rychlost svařování u obvodových svarů si nastavujeme potenciometrem, který řídí rychlost otáčení tlakové nádoby kolem své osy. Rychlost otáčení rotačního kalibru, který je na obr. 46, se udává ve frekvenci [Hz]. Velikost jednotky závisí na průměru svařované tlakové nádoby a na typu svaru. Při nastavení 100 Hz při průměru 76,1 mm je svařovací rychlost 12 cm/min.

Tato rotace tlakové nádoby nám určuje rychlost svařování. Svařovací hořák je vůči tlakové nádobě v relativním klidu. Kromě pohybu, který se nazývá weaving (rozkyv hořáku), který používáme pro svarový spoj na podložce.



Obrázek 46. Rotační kalibr

Při tomto testu použijeme 3 zkušební vzorky, které jsou označeny č. 12 až č. 14. Na každém kusu změníme rychlost svařování. Svařovací parametry jsou uvedeny tab. 19.

Tabulka 19. Nastavení rychlosti svařování

Číslo Vzorku	Svařovací proud [A]	Svařovací napětí [V]	Posuv drátu [m/min]	Rychlost svařování [Hz]	Úhel hořáku [°]	Výlet drátu [mm]
12	220-230	26,4-26,8	12.0	100	20-45	15
13	220-230	26,4-26,8	12.0	80	20-45	15
14	220-230	26,4-26,8	12.0	60	20-45	15



Obrázek 47. Vzorek č. 12



Obrázek 48. Vzorek č. 13



Obrázek 49. Vzorek č. 14

Během svařování jsem hodnotil průběh hoření oblouku. U každého vzorku je stabilní oblouk hoření. V tab. 20 jsou uvedeny výsledky průběhu svařování.

Tabulka 20. Hodnocení svařování se změnou rychlosti

Hodnocení průběhu svařování se změnou rychlosti svařování					
Číslo vzorku	Rychlost svařování [Hz]	Subjektivní hodnocení	Stabilita hoření oblouku	Vyhodnocení průběhu svařování	Změna průběhu svařování
12	100	Dobrý	Stabilní	Vyhovuje	Bez změn
13	80	Dobrý	Stabilní	Vyhovuje	Bez změn
14	60	Dobrý	Stabilní	Vyhovuje	Bez změn

Po svaření vzorku jsem hodnotil vizuální pohled svaru v tab. 21. U dvou vzorků č. 12 a 13 vizuální kontrola vyhověla. Svar je u těchto vzorků po celém obvodu stejnoměrný a kresba svaru je pravidelně šípovitá. U vzorku č. 14 je svar po obvodu nepravidelný. Kresba je hladká a po obvodu svaru byl nalezen zápal, což je pro nás nevyhovující. Svařovací parametry pro tento vzorek jsem zamítl.

Tabulka 21. Hodnocení povrchu svarů se změnou rychlosti

Vizuální hodnocení povrchu svarů					
Číslo vzorku	Rychlost svařování [Hz] napětí [V]	Pravidelnost kresby svaru	Kresba povrchu svaru	Zápal	Vyhodnocení vizuálního hodnocení svaru
12	100	Pravidelný	Šípovitý	Ne	Vyhovuje
13	80	Pravidelný	Šípovitý	Ne	Vyhovuje
14	60	Nepravidelný	Hladký	Ano	Nevyhovuje

Z každého svařovaného kusu se odebral vzorek pro makroskopickou zkoušku v tab. 22. Měřil jsem hloubku průvaru, šířku svaru, výšku svaru a hlavně vady ve svaru. U vzorků č. 12 a 13 je zkouška vyhovující. Dobře provařený základní materiál, tak i další parametry svarové housenky, jsou vyhovující. U vzorku č. 14 jsme naměřili příliš nadměrný průvar k poměru základnímu materiálu. V procesu by nastalo úplné provaření základního materiálu.

Tato rychlost svařování je příliš malá, což má za následek nadměrné provaření základního materiálu. Svařovací parametry pro tento vzorek jsou pro nás nevyhovující. Rychlost svařování má velký vliv na průvar základního materiálu, šířku svaru a výšku svaru. Závislost parametrů na nastavení rychlosti svařování je znázorněno na grafu 10 až grafu 12.

Tabulka 22. Hodnocení macrostruktury se změnou rychlosti

Hodnocení makrostruktury se změnou rychlosti svařování						
Číslo vzorku	Rychlost svařování [Hz]	Hloubka závaru	Šířka svaru	Výška svaru	Vady ve svaru	Vyhodnocení
12	100	1,32	10,87	3,62	Bez vad	Vyhovuje
13	80	1,42	11,48	3,73	Bez vad	Vyhovuje
14	60	1,75	14,18	4,08	Bez vad	Částečně protavený materiál



Graf 10. Hloubka závaru v závislosti na rychlosti svařování



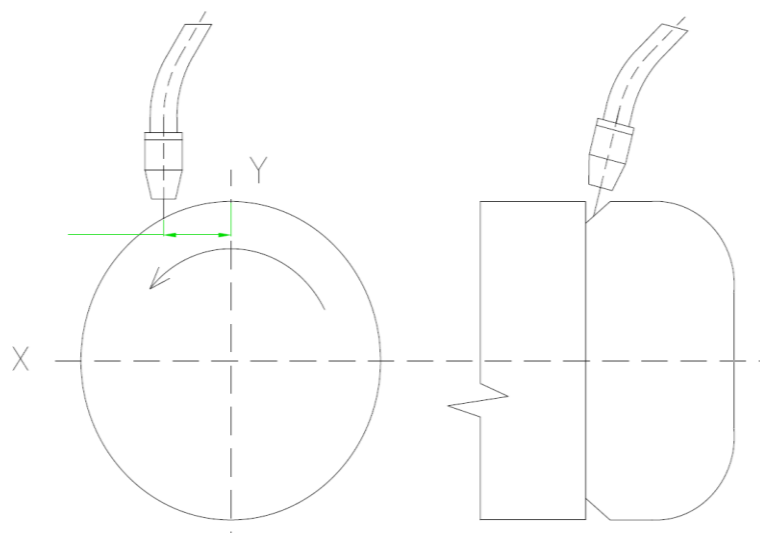
Graf 11. Šířka svaru v závislosti na rychlosti svařování



Graf 12. Výška svaru v závislosti na rychlosti svařování

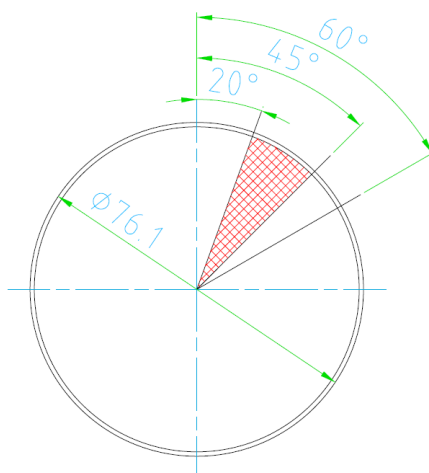
5.4.6 Nastavení úhlu hořáku

Pro správné nastavení úhlu svařovacího hořáku jsem použili tři vzorky očíslované od č. 15 do č. 17, které jsou uvedeny na obr. 52 – 54. Na každém kusu vzorku jsem změnil úhel svařování. Svařovací parametry jsou uvedeny v tab. 23. Úhel sklonu svařovacího hořáku by měl být u metody 135 při svařování koutového svaru 40°- 45°, jak je uvedeno na obr. 50.



Obrázek 50. Nastavení svařovacího hořáku

Pro nás je důležitější nastavení sklonu svařovací hubice k pozici barelu, jak je uvedeno na obr. 55. Úhel svařovacího hořáku je brán od osy svařovacího barelu. Nejvyšší bod barelu je brán jako úhel 0° . Na obr. 51 jsou uvedeny úhly hořáku, které jsem nastavil při svařování vzorků. Vyšrafovaná část je pro naše svařování neoptimálnější ($20^\circ - 45^\circ$).



Obrázek 51. Úhel hořáku na rotačním kalibru

Tabulka 23. Nastavení úhlu hořáku

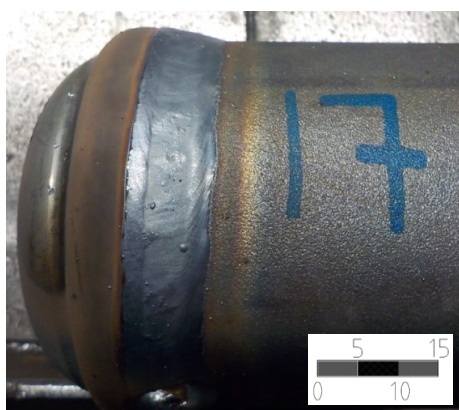
Číslo Vzorku	Svařovací proud [A]	Svařovací napětí [V]	Posuv drátu [m/min]	Rychlost svařování [Hz]	Úhel hořáku k materiálu [°]	Výlet drátu [mm]
15	220-230	26.4-26.8	12.0	100	20-45	15
16	220-230	26.4-26.8	12.0	100	0-20	15
17	220-230	26.4-26.8	12.0	100	45-60	15



Obrázek 52. Vzorek č. 15



Obrázek 53. Vzorek č. 16



Obrázek 54. Vzorek č. 17



Během svařování jsem hodnotil stabilitu hoření oblouku v tab. 24. U prvního vzorku č. 15 byl oblouk stabilní po celou dobu svařování. U posledních dvou vzorků č. 16 a č. 17 byl svařovací proces po celou dobu svařování nestabilní.

Tabulka 24. Hodnocení průběhu svařování se změnou úhlu hořáku

Hodnocení průběhu svařování se změnou úhlu hořáku					
Číslo vzorku	Úhel hořáku [°]	Subjektivní hodnocení	Stabilita hoření oblouku	Vyhodnocení průběhu svařování	Změna průběhu svařování
15	20-45	Dobry	Stabilní	Vyhovuje	Bez změn
16	0-20	Nepravidelný	Nestabilní	Nevyhovuje	Bez změn
17	45-60	Nepravidelný	Nestabilní	Nevyhovuje	Bez změn

Po svaření vzorku jsem hodnotil vzhled svaru v tab. 25. Vzorek č. 15 vyhověl vizuální kontrole. Svar je u tohoto vzorku po celém obvodu stejnoměrný a kresba svaru je pravidelně šípovitá. U vzorku č. 16 je svar pravidelný po obvodu. Svar nemá pravidelnou kresbu a je příliš navýšený. Vzorek č. 17 je po obvodu nepravidelný. Kresba svaru je hladká. Šířka svaru je nadměrná a samostatný svar je propadlý.

Tabulka 25. Vizuální hodnocení povrchu svarů se změnou úhlu hořáku

Vizuální hodnocení povrchu svarů					
Číslo vzorku	Úhel hořáku [°]	Pravidelnost kresby svaru	Kresba povrchu svaru	Zápal	Vyhodnocení vizuálního hodnocení svaru
15	20-45	Pravidelný	Šípovitý	Ne	Vyhovuje
16	0-20	Nepravidelný	Hladký	Ne	Nevyhovuje, převýšený svar
17	45-60	Nepravidelný	Hladký	Ano	Nevyhovuje

Z každého svařovaného kusu jsem odebral vzorek pro makroskopickou zkoušku v tab. 26. Měřil jsem hloubku průvaru základního materiálu, šířku svaru, výšku svaru a hlavně vady ve svaru. U vzorku č. 15 je zkouška vyhovující. Dobře provařený základní materiál, tak i další parametry svarové housenky, jsou vyhovující.



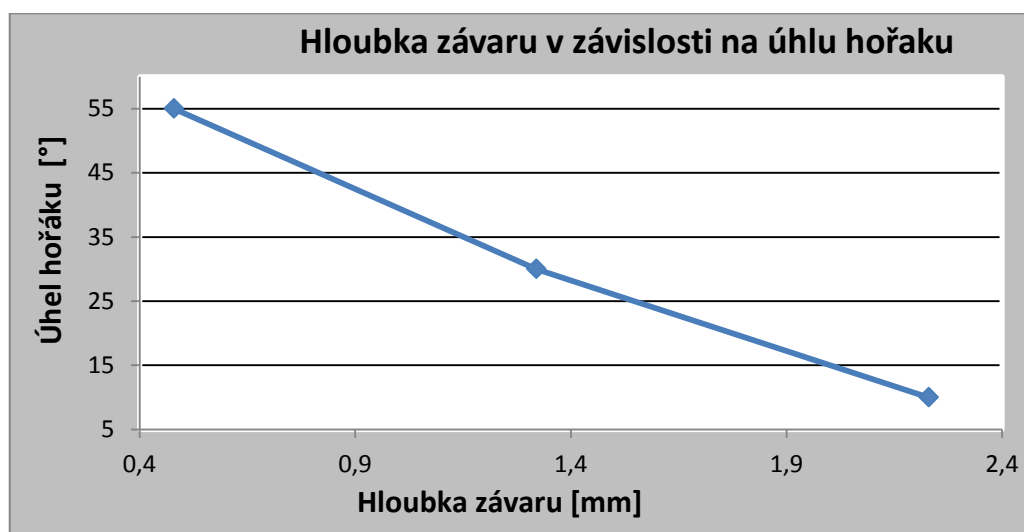
Obrázek 55.Nastavení svařovacího hořáku

U vzorku č. 16 jsem naměřili příliš nadměrný průvar k poměru tloušťce základního materiálu. V procesu může nastat provaření základního materiálu. Toto nastavení svařovacího hořáku má za následek nadměrné provaření základního materiálu. Dále jsem naměřil příliš navýšený svar.

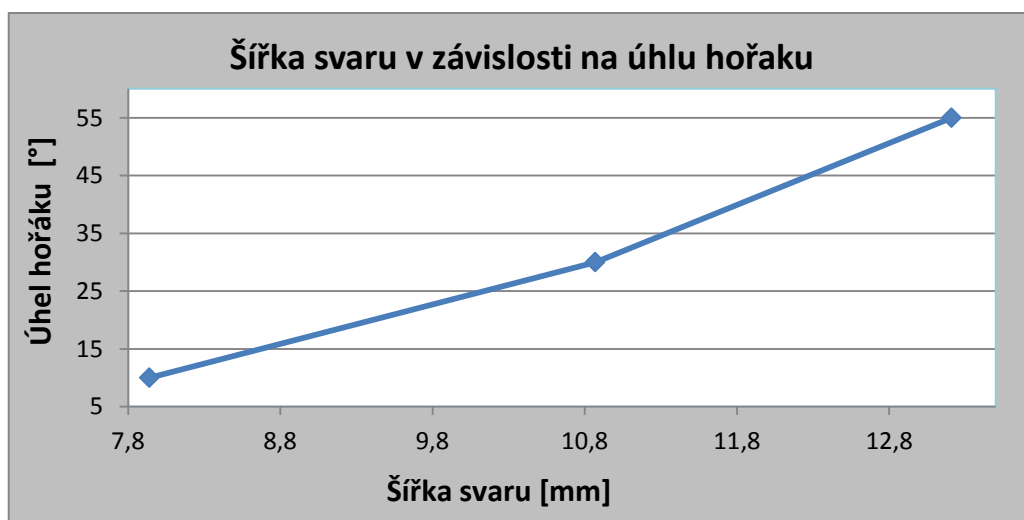
U vzorku č. 17 nebyl dostatečně provařen základní materiál. Svar je příliš široký a propadlý. Svařovací hořák je nastaven pod hranici, kde dochází ke stečení svarové lázně po základním materiálu. Nastavení hořáku u vzorků č. 16 a 17 je nevyhovující. Úhel sklonu hořáku má velký vliv na průvar základního materiálu, šířku svaru a výšku svaru. Závislost parametrů na nastavení sklonu hořáku je znázorněno na grafu 13 – 15.

Tabulka 26. Hodnocení macrostruktury se změnou úhlu hořáku

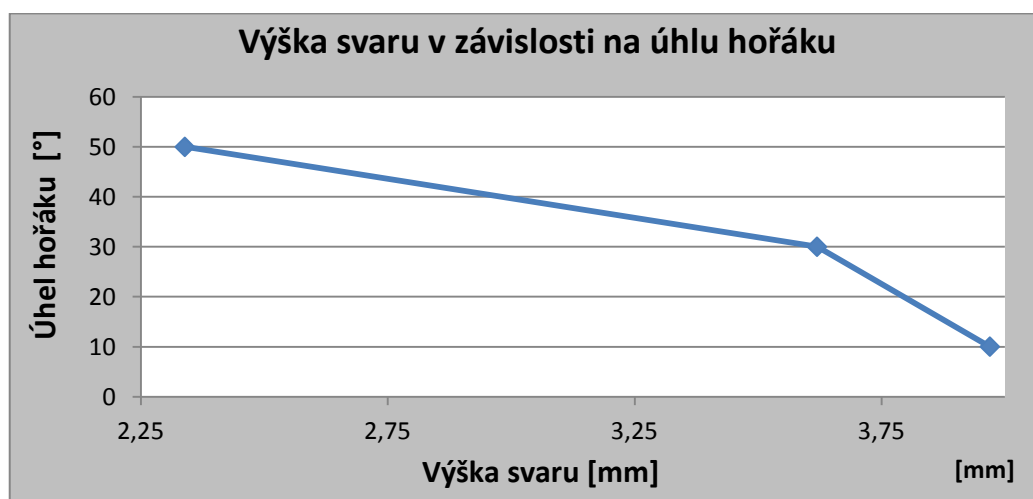
Hodnocení macrostruktury se změnou úhlu nastavení hořáku						
Číslo vzorku	Úhel hořáku [°]	Hloubka závaru	Šířka svaru	Výška svaru	Vady ve svaru	Vyhodnocení
15	20-45	1,32	10,87	3,62	Bez vad	Vyhovuje
16	0-20	2,23	7,94	2,66	Převýšený svar	Nevyhovuje, částečně protavený materiál
17	45-60	0,48	13,21	2,76	Póry	Nevyhovuje, neprůvar



Graf 13. Hloubka závaru v závislosti na úhlu svařovacího hořáku



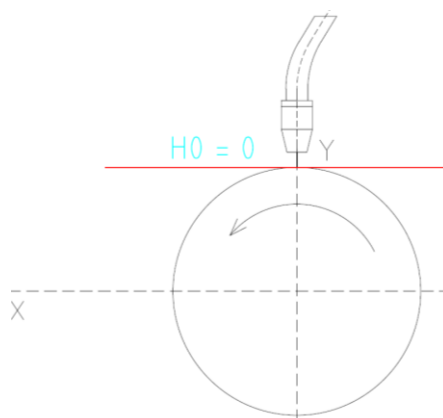
Graf 14. Šířka svaru v závislosti na úhlu svařovacího hořáku



Graf 15. Výška svaru v závislosti na úhlu svařovacího hořáku

Vzorek č.16

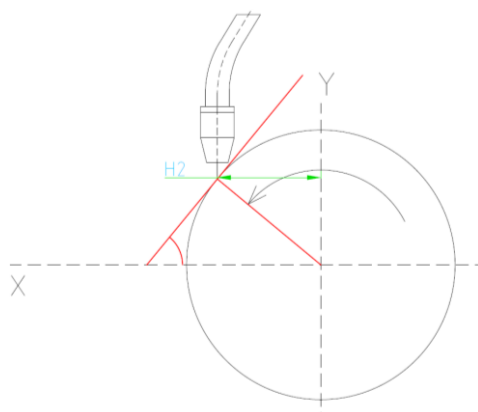
Vzdálenost H_0 (0° - 20°) – Jestliže hořák nastavíme přímo na ose Y, jak je na obr. 56 a necháme-li používané svařovací parametry a stejnou rychlost svařování, hořák směřuje přímo kolmo na svařovaný materiál (kolmo na přímku), tak veškerá tepelná energie směřuje do jednoho místa. Nastane provaření základního materiálu, svarová housenka je nepravidelná, úzká a převýšená. [3]



Obrázek 56. Nastavení úhlu hořáku 0°-20°

Vzorek č. 17

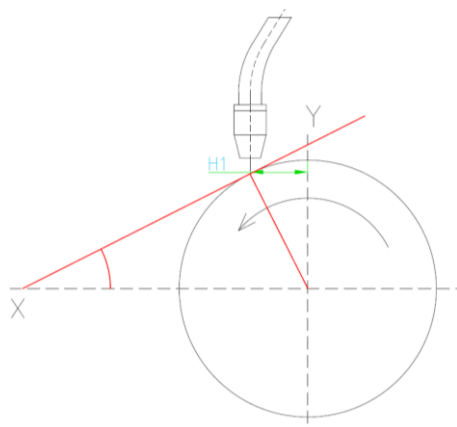
Vzdálenost H_2 (45°-60°) – Necháme používané svařovací parametry a stejnou rychlost svařování. Na obr. 57 vidíme, že přímka svírá velký úhel (je příliš strmá). Svar bude studený, kořen nebude dostatečně provařený. Svar přeteče ze svarových ploch, protože přímka svírá příliš velký úhel. Vzorek č. 17 je neprovařený a svar je nepravidelný. [3]



Obrázek 57. Nastavení úhlu hořáku 45°-60°

Vzorek č. 15

Vzdálenost H_1 (20°-45°) – Tato poloha svařovacího hořáku je pro nás nejvýhodnější, jak je uvedeno na obr. 58. Úhel γ se zmenšil a přímka není tak strmá jako v předešlém případě. Kořenový svar bude provařený a geometrie svarové housenky bude pravidelná. [3]



Obrázek 58. Nastavení úhlu hořáku 20°-45°

5.5 Dosažené výsledky

Svařovací parametry jsem optimalizoval z důvodu dosažení nejvyšší kvality svaru. Nejvíce jsem se zaměřil na dosažení dostatečné hloubky průvaru. V pracovním procesu se svařovalo metodou KF pulz, která byla nastavena jako výchozí parametr. Svařovací parametry jsou uvedeny v tab.27.

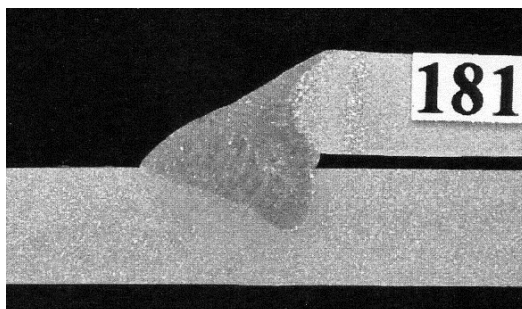
Tabulka 27. Svařovací parametry KF pulz

Metoda KF pulz				
Svařovací proud [A]	Svařovací napětí [V]	Výlet drátu [mm]	Svařovací rychlost [Hz]	Úhel hořáku [°]
160-170	29,0-30,0	10.15	70-80	20-30

Tabulka 28. Svařovací parametry 135

Metoda MIG/MAG				
Svařovací proud [A]	Svařovací napětí [V]	Výlet drátu [mm]	Svařovací rychlost [Hz]	Úhel hořáku [°]
220-230	26,4-26,8	15-20	90-100	20-45

Podle výsledných parametrů je pro nás nejvýhodnější metoda 135. Dosáhly jsme většího průvaru základního materiálu a zvýšily jsme rychlost svařování. Výsledné svařovací parametry jsou uvedené v tab. 28. Na obr. 59 je znázorněna makrostruktura vzorku, který byl svařen s výslednými svařovacími parametry.



Obrázek 59. Makrostruktura vzorku (zvětšeno 3x)

Svařovací proud

Na vzorkách můžeme vidět, jaký vliv má svařovací proud na vlastnost svaru. Optimální svařovací proud je 220 – 230 A. Menší svařovací proud způsobyl menší průvar základního materiálu. Vyšší svařovací proud provaří základní materiál, což je nevyhovující. Svařovací proud má také vliv na geometrii svaru.

Svařovací napětí

Optimální svařovací napětí je 26,4 – 26,8 V. Při použití nižšího napětí dosáhneme užší svarové housenky a většího průvaru základního materiálu. Nastavením vyššího napětí dosáhneme nižšího průvaru základního materiálu a větší šířky svarové housenky.

Výlet drátu

Optimální nastavení výletu drátu 15 - 20 mm. U kratšího výletu drátu je základní materiál více provařený, ale svařovací hubice je více znečištěna od roztřiku. U většího výletu drátu je průvar základního materiálu podstatně nižší a hoření oblouku je nestabilní.

Rychlost svařování

Optimální svařovací rychlost je 100 Hz což je asi 12 cm/min. Nižší svařovací rychlost nám způsobí nadměrný průvar základního materiálu a šířka svarové housenky je k optimální nastavené rychlosti větší. Při vyšší svařovací rychlosti je průvar podstatně nižší. Svarová lázeň při vysoké rychlosti dostatečně nenataví základní materiál. Šířka svarové housenky je podstatně širší, než u optimální rychlosti.

Úhel svařovacího hořáku

Úhel, neboli sklon svařovacího hořáku k průměru barelu je neoptimálnější $20^{\circ} - 45^{\circ}$. Následkem menšího úhlu hořáku je provaření základního materiálu. Tepelná energie Q se soustředí kolmo do jednoho místa a tím dojde k provaření materiálu. U většího nastavení úhlu hořáku nedosáhneme k dostatečnému provaření základního materiálu. Při větším nastavení úhlu hořáku svarová lázeň steče po základním materiálu a základní materiál není dostatečně provařen.

Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na téma “Optimalizace parametrů svařování tlakové nádoby robotem metodou 135”. Cílem diplomové práce bylo navrhnout svarový spoj tlakové nádoby a optimalizovat svařovací parametry na základě výsledků dosažených při svaření svarových vzorků.

V teoretické části jsem popsal zařízení, na kterém jsem svařoval zkušební vzorky a které používáme v provozu. Podrobně jsem popsal návrhy svarových spojů pro tlakové nádoby podle norem ČSN EN 13445 a ČSN EN 14276 – 1. Podle parametrů jsem navrhl optimální svarový spoj, který jsem použil pro konstrukci tlakové nádoby. Zhodnotil jsem veškeré vlivy na charakteristiku svarového spoje. Popsal jsem vyskytované vady svarů, které jsou příčinou nastavených nevhodných svarových parametrů.

V experimentální části jsem svařil několik vzorků s různými hlavními svařovacími parametry. Vzorky byly rozděleny tak, aby jsem zjistil vliv svarových parametrů při změně svařovacího proudu, svařovacího napětí, výletu drátu, rychlosti svařování a úhel sklonu hořáku. Svařovací parametry jsem zkoušel na obvodových svarech, kde jsem svařoval víko k barelu. Z každého vzorku jsem vyhodnotil svar jak vizuální kontrolou, tak i makroskopickou zkouškou. Podle získaných hodnot jsem vyhodnotil optimální svařovací parametry pro danou tlakovou nádobu.

Závěrem můžu napsat, že navržený svarový spoj a svarové parametry jsou pro robotizované svařování nejvýhodnější. Podle nastavených svařovacích parametrů byly na vzorku provedeny zkoušky dle ČSN EN 15614 – 1. Na základě těchto zkoušek byla provedena kvalifikace postupu svařování.

Použitá literatura

- [1] ESAB, *Katalog přídavných materiálů pro svařování*. ESAB VAMBERK, s.r.o., Smetanovo nábřeží 334, VAMBERK, 2007
- [2] KOUKAL J., SCHWARZ D., HAJDÍK J., *Materiály a jejich svařitelnost*. Český svářečský ústav s.r.o. Ostrava, 2009, ISBN 978-80-248-2025-5
- [3] ŠUFANA M., *Návrh technologie svařování netopené tlakové nádoby*, bakalářská práce, Ostrava 2014
- [4] SKS, školící manuál © 2009 [cit. 2012-01-09] *Školící manuál: Metoda svařování MIG/MAG na zařízeních SKS*.
- [5] MOTOMAN, školící manuál © 2012 [cit. 2012-01-09] *Školící manuál*, dostupné: <http://www.motoman.com/products/robots/arc-weldingrobots.php>
- [6] ČSN EN 13445, *Netopené tlakové nádoby – Část 2: Materiály*. Praha. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [7] ČSN EN 13445, *Netopené tlakové nádoby – Část 3: Konstrukce a výpočet*. Praha. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [8] ČSN EN 15614 – 1, *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupu svařování – Část 1: Obloukové a plamenové svařování ocelí a obloukové svařování niklu a slitin niklu*, Praha. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [9] ČSN EN 14276 – 1. *Tlaková zařízení, chladicí zařízení tepelná čerpadla – Část 1: Nádoby - Všeobecné požadavky*.

- [10] KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T., *Svařování 1*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2009, 133 s., ISBN 978-80-248-0870-3

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1. ZAŘÍZENÍ METODY 135.....	10
OBRÁZEK 2. PRINCIP METODY 135	11
OBRÁZEK 3. CHARAKTERISTIKA PŘENOSU KOVU	11
OBRÁZEK 4. PRŮVARY OCHRANNÝCH PLYNŮ	13
OBRÁZEK 5. PULZNÍ REŽIM SVAŘOVÁNÍ	15
OBRÁZEK 6. PROUDOVÝ PULZ.....	17
OBRÁZEK 7. NAPĚŤOVÝ PULZ.....	17
OBRÁZEK 8. IMPULS KF	18
OBRÁZEK 9. YASKAWA-MOTOMAN MA1900	20
OBRÁZEK 10. LINEÁRNÍ POLOHY ROBOTA	21
OBRÁZEK 11. SVAŘOVACÍ ZDROJ LSQ5	22
OBRÁZEK 12. PODAVAČ DRÁTU	23
OBRÁZEK 13. PRŮŘEZ VODÍCÍCH KLADEK	24
OBRÁZEK 14. PODAVAČ SKS.....	24
OBRÁZEK 15. SVAŘOVACÍ HOŘÁK SKS	25
OBRÁZEK 16. ROZMĚRY SVARU	26
OBRÁZEK 17. VLIV SVAŘOVACÍHO PROUDU NA PRŮVAR.....	27
OBRÁZEK 18. VLIV SVAŘOVACÍHO PROUDU NA VÝŠKU SVARU	27
OBRÁZEK 19. VLIV SVAŘOVACÍHO NAPĚTÍ NA PRŮVAR	28
OBRÁZEK 20. VLIV RYCHLOSTI SVAŘOVÁNÍ NA PRŮVAR	29
OBRÁZEK 21. NASTAVENÍ VÝLETU DRÁTU	29
OBRÁZEK 22. VLIV VÝLETU DRÁTU NA SVAR	30
OBRÁZEK 23. ÚHEL SVAŘOVACÍHO DRÁTU K ZÁKLADNÍMU MATERIÁLU	30
OBRÁZEK 24. VADY SVAROVÝCH SPOJŮ	33
OBRÁZEK 25. STUDENÁ TRHLINA VE SVARU (100)	33
OBRÁZEK 26. KONCOVÝ KRÁTER (104)	34
OBRÁZEK 27. ZÁPAL VE SVARU (501).....	34
OBRÁZEK 28. TLAKOVÁ NÁDOBA	35
OBRÁZEK 29. ÚKOS PRO OBVODOVÝ SVAR - PLNÝ PRŮVAR.....	38
OBRÁZEK 30. ROZKYV HOŘÁKU	38
OBRÁZEK 31. VÍKO VSAZENÉ DO BARELU: 1-VÍKO; 2-BAREL.....	39
OBRÁZEK 32. VÍKO PŘES BAREL: 1-VÍKO; 2-BAREL; 3-KOUTOVÝ SVAR	40
OBRÁZEK 33. ROBOT YASKWA-MOTOMAN	41
OBRÁZEK 34. ROTAČNÍ KALIBR SE VZORKEM	42
OBRÁZEK 35. VZOREK Č. 1	44
OBRÁZEK 36. VZOREK Č. 3	44
OBRÁZEK 37. VZOREK Č.2	44
OBRÁZEK 38. VZOREK Č. 4	44
OBRÁZEK 39. VZOREK Č. 5	47
OBRÁZEK 40. VZOREK Č. 6	47

OBRÁZEK 41. VZOREK Č. 7	48
OBRÁZEK 42.VZOREK Č. 8	48
OBRÁZEK 43.VZOREK Č. 9	51
OBRÁZEK 44.VZOREK Č. 10	51
OBRÁZEK 45.VZOREK Č. 11	52
OBRÁZEK 46.ROTAČNÍ KALIBR	55
OBRÁZEK 47.VZOREK Č. 12	56
OBRÁZEK 48.VZOREK Č. 13	56
OBRÁZEK 49.VZOREK Č. 14	56
OBRÁZEK 50.NASTAVENÍ SVAŘOVACÍHO HOŘÁKU.....	60
OBRÁZEK 51.ÚHEL HOŘÁKU NA ROTAČNÍM KALIBRU	60
OBRÁZEK 52.VZOREK Č. 15	61
OBRÁZEK 53.VZOREK Č. 16	61
OBRÁZEK 54.VZOREK Č. 17	61
OBRÁZEK 55.NASTAVENÍ SVAŘOVACÍHO HOŘÁKU.....	63
OBRÁZEK 56. NASTAVENÍ ÚHLU HOŘÁKU 0°-20°.....	66
OBRÁZEK 57. NASTAVENÍ ÚHLU HOŘÁKU 45°-60°.....	66
OBRÁZEK 58. NASTAVENÍ ÚHLU HOŘÁKU 20°-45°.....	67
OBRÁZEK 59. MAKROSTRUKTURA VZORKU (ZVĚTŠENO 3X).....	68

Seznam tabulek

TABULKA 1. PARAMETRY RAMENE ROBOTA	20
TABULKA 2. PARAMETRY SVAŘOVACÍHO ZDROJE SKS	22
TABULKA 3. CHEMICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU P265GH	35
TABULKA 4. MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU P265GH	36
TABULKA 5. TYPY SVARŮ PRO OBVODOVÉ SVARY ČSN EN 14276-1	37
TABULKA 6. CHEMICKÉ SLOŽENÍ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI WDI WEKO.....	43
TABULKA 7. NASTAVENÍ SVAŘOVACÍHO PROUDU	43
TABULKA 8. HODNOCENÍ SVAŘOVÁNÍ SE ZMĚNOU PROUDU.....	44
TABULKA 9. VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ.....	45
TABULKA 10. HODNOCENÍ MACROSTRUKTURY	45
TABULKA 11. NATAVENÍ SVAŘOVACÍHO NAPĚTÍ.....	47
TABULKA 12. HODNOCENÍ PRŮBĚHU NPĚTÍ.....	48
TABULKA 13. VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ.....	49
TABULKA 14. HODNOCENÍ MAKROSTRUKTURY SE ZMĚNOU NAPĚTÍ.....	49
TABULKA 15. NASTAVENÍ VÝLETU DRÁTU	51
TABULKA 16. HODNOCENÍ PRŮBĚHU SVAŘOVÁNÍ SE ZMĚNOU VÝLETU DRÁTU	52
TABULKA 17. HODNOCENÍ POVRCHU SVARU.....	53
TABULKA 18. HODNOCENÍ MACROSTRUKTURY SE ZMĚNOU VÝLETU DRÁTU	53
TABULKA 19. NASTAVENÍ RYCHLOSTI SVAŘOVÁNÍ.....	56
TABULKA 20. HODNOCENÍ SVAŘOVÁNÍ SE ZMĚNOU RYCHLOSTI	57

TABULKA 21. HODNOCENÍ POVRCHU SVARŮ SE ZMĚNOU RYCHLOSTI	57
TABULKA 22. HODNOCENÍ MACROSTRUKTURY SE ZMĚNOU RYCHLOSTI.....	58
TABULKA 23. NASTAVENÍ ÚHLU HOŘÁKU	61
TABULKA 24. HODNOCENÍ PRŮBĚHU SVAŘOVÁNÍ SE ZMĚNOU ÚHLU HOŘÁKU.....	62
TABULKA 25. VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ POVRCHU SVARŮ SE ZMĚNOU ÚHLU HOŘÁKU ..	62
TABULKA 26. HODNOCENÍ MACROSTRUKTURY SE ZMĚNOU ÚHLU HOŘÁKU	64
TABULKA 27. SVAŘOVACÍ PARAMETRY KF PULZ	67
TABULKA 28. SVAŘOVACÍ PARAMETRY 135	67

Seznam grafů

GRAF 1. HLOUBKY ZÁVARU V ZÁVISLOSTI NA PROUDU	46
GRAF 2. ŠÍŘKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA PROUDU.....	46
GRAF 3. VÝŠKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA PROUDU.....	46
GRAF 4. HLOUBKA ZÁVARU V ZÁVISLOSTI NA NAPĚTÍ	50
GRAF 5. ŠÍŘKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA NAPĚTÍ	50
GRAF 6. VÝŠKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA NAPĚTÍ	50
GRAF 7. HLOUBKA ZÁVARU V ZÁVISLOSTI NA VÝLETU DRÁTU	54
GRAF 8. ŠÍŘKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA NA VÝLETU DRÁTU.....	54
GRAF 9. VÝŠKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA VÝLETU DRÁTU	54
GRAF 10. HLOUBKA ZÁVARU V ZÁVISLOSTI NA RYCHLOSTI SVAŘOVÁNÍ.....	58
GRAF 11. ŠÍŘKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA RYCHLOSTI SVAŘOVÁNÍ.....	59
GRAF 12. VÝŠKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA RYCHLOSTI SVAŘOVÁNÍ.....	59
GRAF 13. HLOUBKA ZÁVARU V ZÁVISLOSTI NA ÚHLU SVAŘOVACÍHO HOŘÁKU.....	64
GRAF 14. ŠÍŘKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA ÚHLU SVAŘOVACÍHO HOŘÁKU.....	65
GRAF 15. VÝŠKA SVARU V ZÁVISLOSTI NA ÚHLU SVAŘOVACÍHO HOŘÁKU.....	65

Seznam příloh

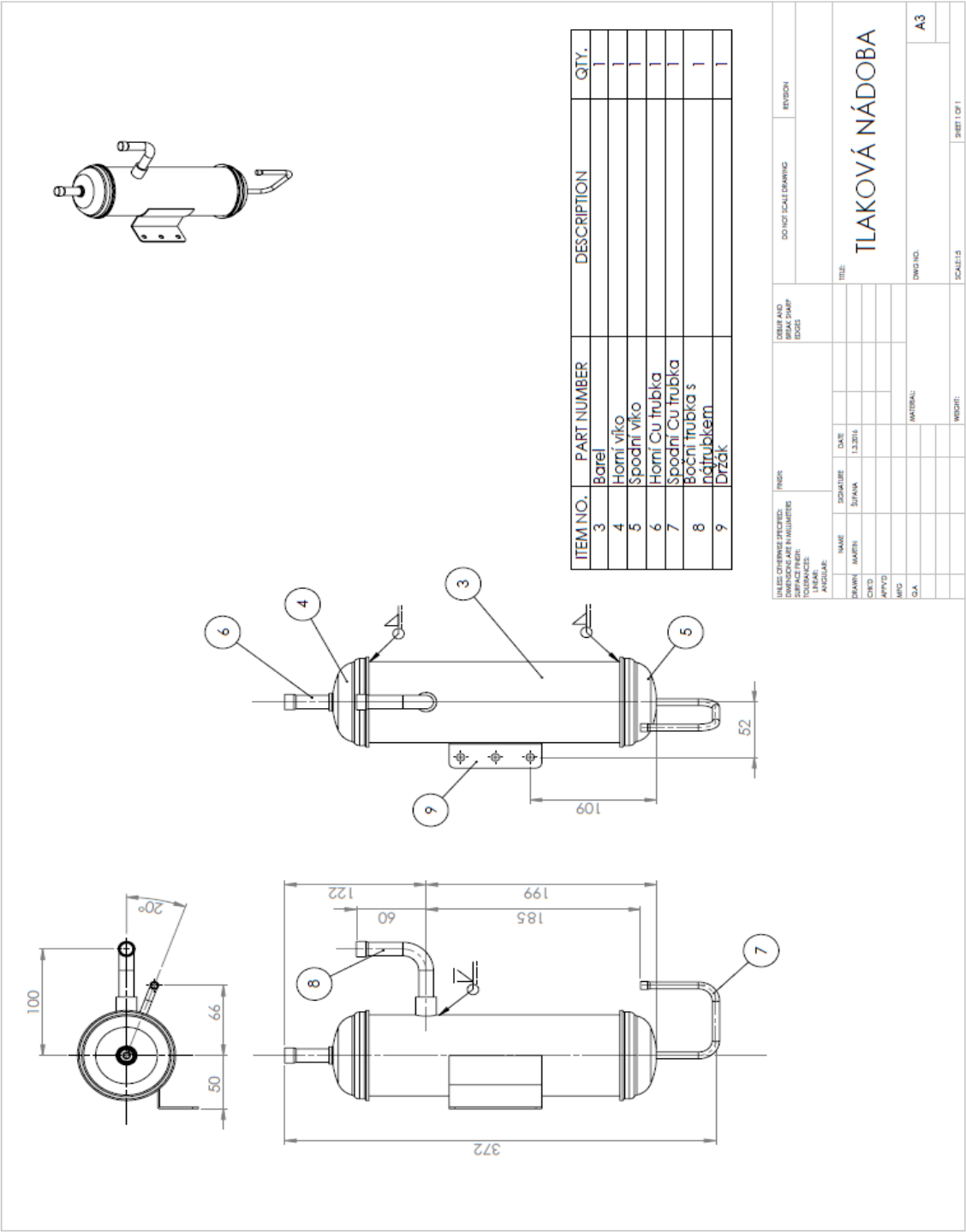
PŘÍLOHA 1. VÝKRES TLAKOVÉ NÁDOBY	76
PŘÍLOHA 2 VÝKRES BARELU	76
PŘÍLOHA 3. VÝKRES VÍKA	78
PŘÍLOHA 4. WPS.....	79

Poděkování

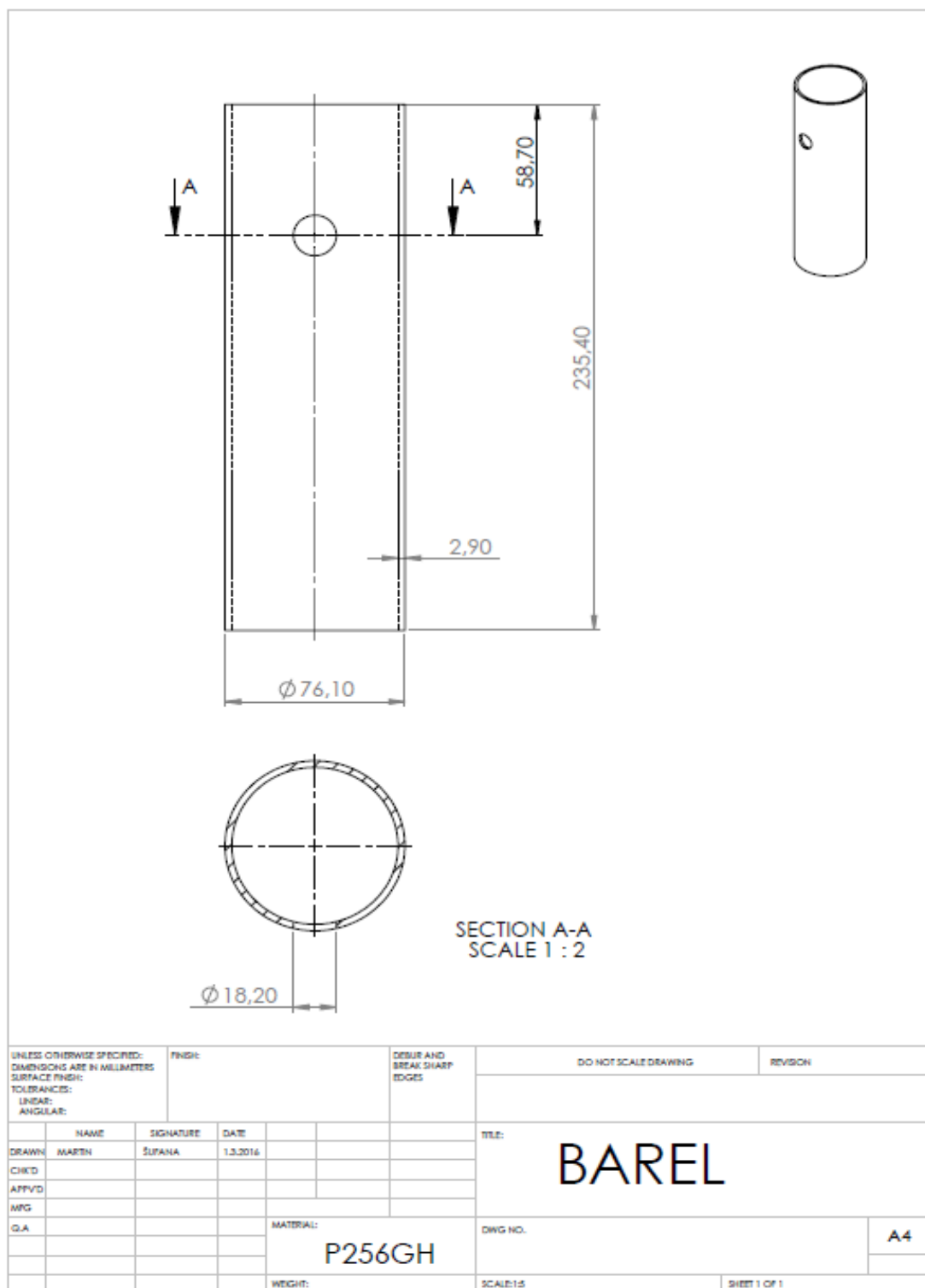
Rád bych poděkoval všem, kteří mi pomáhali při zpracování diplomové práce. Tímto děkuji panu Ing. Martinu Sondelovi, Ph.D. za jeho odborné rady, připomínky a veškeré informace potřebné ke zpracování diplomové práce.

Také bych poděkoval společnosti PV – Czech, že mi umožnila pracovat na tomto projektu.

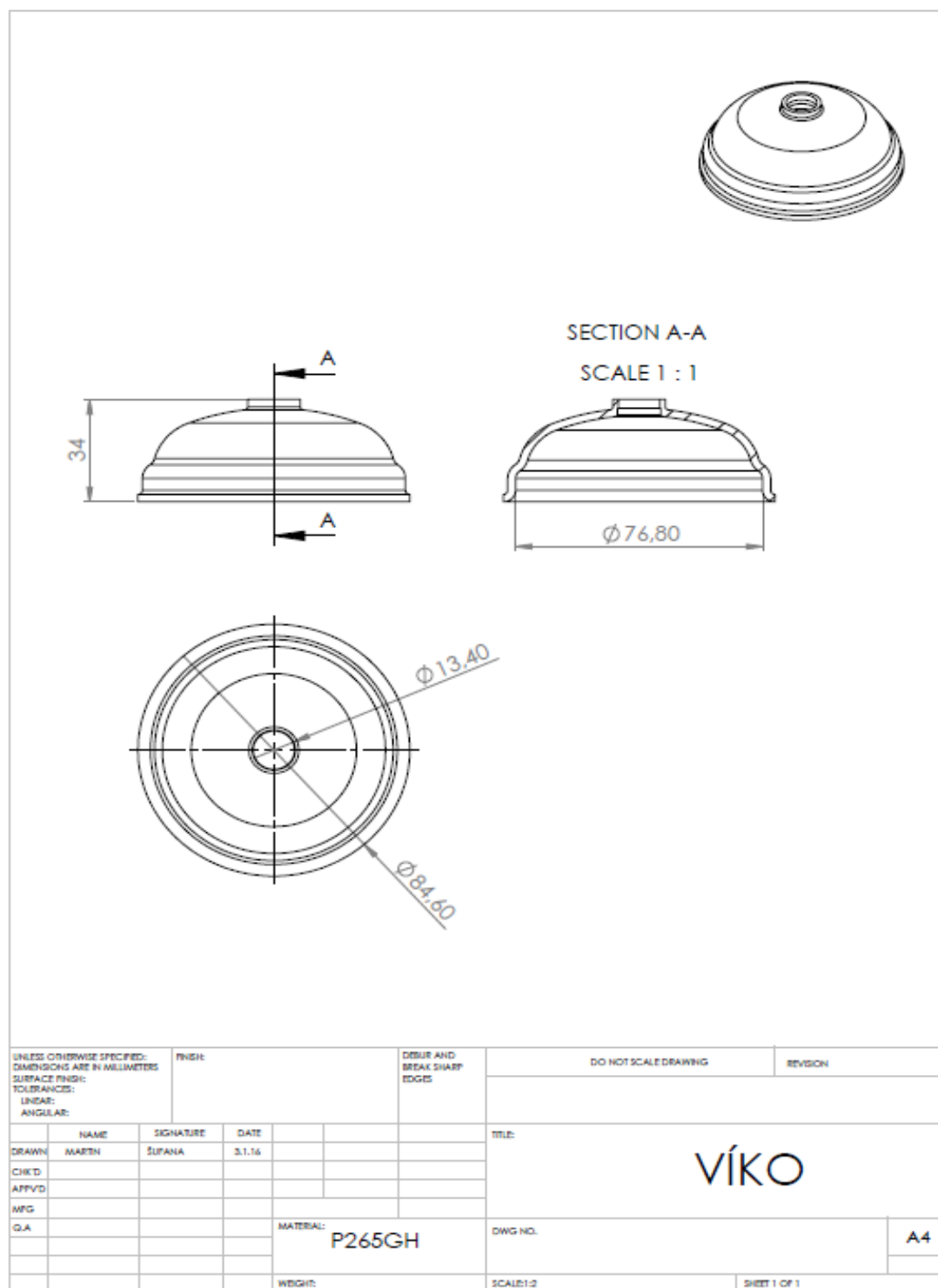
Příloha 1. Výkres tlakové nádoby



Příloha 2 Výkres barelu



Příloha 3. Výkres víka



Příloha 4. WPS

SPECIFIKACE SVAŘOVACÍHO POSTUPU						Číslo/No.: WPS		D0001	
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION						Revize No.:		00	
						Čís. WPQR: No. WPQR		613P-XXXX	
Základní materiály / Parent materials						Strana/Page: 1 of 1			
Základní materiály Base materials		dle TNI CEN ISO/TR 15608 acc. TNI CEN ISO/TR 15608	Ploušťka [mm] Thickness	Vnější průměr [mm] Outside diameter		Zakázka Order			
P265GH		Barel	T = 2,9	D = 76,1					
		Víko	t = 2,9	d = 76,1					
Přidavné materiály / Filler metals									
Označení / Designation		Zařazení / Classification			Sušení / Baking, Drying				
A		WDI Weko 4			EN ISO 17632-A T 46 6 M M 1 H5			N.A.	
B		
C		
Podmínky svařování / Welding conditions									
Svařovací proces Welding process		135	Typ spoje Joint type	Koutový Fillet weld	Druh svaru Weld type	FW	Velikost značka Size symbol		
Způsob přípravy úkosu a čištění Preparation method of groove and cleaning		-			Poloha svař. Welding position	PB			
Ochranný plyn / tavidlo-ochrana svaru Gas / Flux - Shielding		EN ISO 14175 M20 (90%Ar+10%CO2)			Průtokové množství Flow rate	15-20	[l/min]		
Ochranný plyn / tavidlo-ochrana kořene Gas / Flux - Backing		N.A.			Průtokové množství Flow rate	N.A.	[l/min]		
Volfamová elektroda Tungsten electrode type / Size		N.A.			Kořen - drážkování Back gouging	N.A.			
Rozkyv (max. šíře housenky) Weaving (max. width of run)		N.A.			Oscilace (amplituda, frekvence, doba výdrže) Oscillation (amplitude, frequency, dwell time)		N.A.		
Údaje o pulsním svařování Pulse welding details		N.A.							
Parametry svařování / Welding parameters									
Číslo housenky Run No.	Přidavný materiál Filler metal	Průměr elektrody / drátu Electrode/wire diameter [mm]	Svařovací proces Welding process	Proud Current [A]	Napětí Voltage [V]	Typ proudu / polarita Type of current polarity	Rychlost svařování Travel speed [cm/min]	Rychlost posuvu drátu Wire feed speed [cm/min.]	Tepelný příkon Heat input [kJ/cm]
1	A	1,0	135	220-230	26.4-26.8	DC +	12.0	N.A.	N.A.
Tepelné zpracování / Heat treatment									
Předehřev Preheating [°C]	Interpass Interpass [°C]	Dohřev Postheating [°C/hod.]	Rychl. ohřevu Heating rate [°C/hod.]	Teplota žhání PWHT temperature [°C]		Výdrž na tepl. Holding time [min.]	Ochlazování Cooling [°C]	Rych. ochlaz. Cooling rate [°C/hod.]	
N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.		N.A.	N.A.	N.A.	
Vystavil Approved Martin Šufana		Podpis Signature			Schválil Checked		Podpis Signature		
Datum Date 21/3/2016					Datum Date				